

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН  
ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. М.О. АУЕЗОВА

А.С. Колесников

# **КОНСПЕКТЫ ЛЕКЦИЙ**

по дисциплине  
«Экологические проблемы металлургии»

для студентов специальности  
5В070900-«Металлургия»

ШЫМКЕНТ 2013г.

УДК 530.1(035.8)  
ББК 77.488я95  
К 20

Рецензенты:

Зобнин Н.Н.- к.т.н., старший преподаватель кафедры «Технология электротермических производств и металлургия» ЮКГУ им. М.Ауезова  
Исмаилов Е.К.- технический директор филиала ТОО «А-MEGA-TRADING»- Шымкентский свинцовый завод

К 20 Колесников А.С.

Экологические проблемы металлургии. Конспекты лекций.- Шымкент: Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауезова, 2013. -192с.

ISBN 657-338-294-068-9.

Конспекты лекций посвящены описанию основ газоочистки в агломерационном производстве, характеристики отходящих газов литейного и доменного производств, борьбе с пылью в прокатном производстве, водопотреблению и очистки сточных вод прокатных станов, основных характеристик и регенерации маслосодержащих стоков, смазочно-охлаждающих жидкостей, а также современному состоянию комплексной переработке природного и техногенного сырья.

Конспекты лекций предназначены для студентов высших учебных заведений по специальности 5В070900-Металлургия.

В конспектах лекций даны контрольные вопросы для самоконтроля знаний студента.

Конспекты лекций рекомендованы к изданию учебно-методическим советом Южно-Казахстанского государственного университета им. М.Ауезова, протокол №\_\_ от «\_\_»\_\_\_\_2013г.

УДК 530.1(035.8)  
ББК 77.488я95

ISBN 657-338-294-068-9.

© ЮКГУ им. М. Ауезова  
© Колесников А.С.

## Содержание

Введение.....	4
Лекция №1. Газоочистка в агломерационном производстве. Система “Эрфан” для удаления диоксида из отходящих газов.....	5
Лекция №2. Новая система газоочистки “Ветфайн” для цехов по производству агломерата и окатышей.....	13
Лекция №3. Газоочистка известеобжигового производства.....	21
Лекция №4. Газоочистка известеобжигового производства.....	25
Лекция №5. Аппараты и установки для очистки газов цеха углеподготовки в коксохимическом производстве.....	33
Лекция №6. Аппараты и установки для очистки газов в коксохимическом производстве.....	37
Лекция №7. Вредные выбросы доменного производства .....	46
Лекция №8. Очистка вредных выбросов доменного производства.....	50
Лекция №9. Очистка газов в доменном цехе .....	53
Лекция №10. Очистка газа в трубах распылителей-дрессельная группа.....	61
Лекция №11. Характеристика отходящих газов мартеновских печей.....	65
Лекция №12. Обеспыливание отходящих газов мартеновских печей.....	68
Лекция №13. Оксиды азота, неорганические выбросы и борьба ними в мартеновском производстве.....	73
Лекция №14. Способы и виды очистки конверторных газов.....	75
Лекция №15. Мокрая очистка конверторных газов.....	80
Лекция №16. Сухая очистка конверторных газов.....	95
Лекция №17. Оборотные циклы газоочистки.....	103
Лекция №18. Очистка сточных вод конвертерного производства.....	109
Лекция №19. Борьба с пылью и обеспыливание выбросов машин огневой зачистки (МОЗ) в прокатном производстве.....	115
Лекция №20. Водопотребление и очистка сточных вод прокатных станов....	121
Лекция № 21. Очистки сточных вод в цехах горячей прокатки.....	127
Лекция № 22. Вредные выбросы и сточные воды травильного отделения в прокатном производстве.....	134
Лекция № 23. Виды сточных вод трубопрокатных и прокатных цехов.....	138
Лекция 24. Первичные отстойники прокатных и трубопрокатных цехов.....	141
Лекция 25. Вторичные отстойники прокатных и трубопрокатных цехов.....	147
Лекция № 26. Очистка, охлаждение, осветление и фильтрование сточных вод от прокатных и трубопрокатных станов .....	160
Лекция № 27. Основные характеристики и регенерация маслосодержащих стоков, смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ).....	170
Лекция № 28. Технология очистки отработанных смазочно-охлаждающих гидкостей и утилизация осадков сточных вод и активного ила.....	175
Лекция № 29. Обработка травильных сточных вод.....	183
Лекция № 30. Водоочистка травильных сточных вод.....	186

## Введение

Основным содержанием концепции устойчивого развития применительно к промышленности является *Ecologically Sustainable Industrial Development (ESID)* - модель устойчивого экологически безопасного промышленного развития, разработанная ЮНИДО и утвержденная резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН в 1992 году. *ESID* - это промышленное развитие с целью удовлетворения роста потребностей человека и будущих поколений без нарушения основных природных процессов (устойчивости биосферы).

Одним из основных принципов *ESID* является *Life Cycle Analysis* - анализ жизненного цикла изделия. Он заключается в учете суммарного расхода потребляемых ресурсов и выбросов в окружающую среду: от добычи сырья и источников энергии до переработки изделия, вышедшего из потребления. Технология, не прошедшая комплексной экспертизы на соответствие принципам *ESID*, не получает лицензии и не может быть использованной.

К проблеме выработки стратегии устойчивого развития в последние годы во всем мире приковано внимание и политиков, и бизнесменов, и ученых, и широкой общественности, включая представителей «зеленого движения». Очевидно, что технологии должны быть ориентированы на производство «социальных товаров», т.е. лучшего качества, с более продолжительным сроком службы, способствовать сохранению и укреплению ресурсной базы, исключению из технологической цепочки опасных веществ. При этом общество должно быть готовым платить за ущерб, который может быть нанесен будущим поколениям.

Международной организацией по стандартизации - *International Standard Organization for Standardization (ISO)* - разработана серия экологических стандартов *ISO 14000*, содержащих основные требования к системе экологического менеджмента (управления окружающей средой), призванная помочь предприятиям в постановке и решении экологических проблем.

В процессе принятия решений предприятия должны учитываться критерии экономического, экологического и социального характера. Необходимы новые принципы планирования, материального и законодательного стимулирования, мониторинга и оценки эффективности результатов любых хозяйственных и социальных мероприятий.

Настоящий курс лекций по дисциплине «Экологические проблемы металлургии» является обязательным курсом для студентов специальности 5В070900- Металлургия.

## **Лекция №1. Газоочистка в агломерационном производстве. Система “Эрфан” для удаления диоксина из отходящих газов.**

- 1. Система “Эрфайн” для удаления диоксина из отходящих газов аглопроизводства и электродуговых печей.**
- 2. Выбросы диоксина**
- 3. Обработка отходящих газов аглофабрики**
- 4. Обработка отходящих газов ЭДП**

**Диоксины** - (ядовитые органические соединения) образуются как нежелательная побочная продукция при производстве гербицидов или в промышленном процессе горения, выделяющем тепло.

С начала 1990-х годов на черную металлургию оказываю существенное давление соответствующие органы власти партии "зеленых", требующие резкого сокращения объема диоксинов и других вредных выбросов. В этот период ФАИ начинает разработку нового поколения системы очистки отходящих газов аглофабрик и электродуговых печей (ЭДП). Одна из особенностей этой задачи состояла в том, чтобы создать систему, которая эффективно удаляла бы из струи отходящего газа не только пыль, но и диоксины и другие нежелательные вещества. В результате были разработаны системы с эффективностью удаления диоксина от 80 до 99 %. Это означает, что его концентрация в очищенном газе составляет 0,1 – 0,4 нг I – МЭТ (международный эквивалент токсичности).

Диоксины (ядовитые органические соединения) образуются как нежелательная побочная продукция при производстве гербицидов или в промышленном процессе горения, выделяющем тепло. Происхождение диоксинов – тепловое или химическое – определяется на основании так называемых “отпечатков пальцев”, которые характеризуют распределение гомологического ряда диоксинов и фуранов. Соответствующие признаки, присущие выбросам аглофабрик (рисунок 1) и ЭДП, - типичны для теплового происхождения вследствие реакции органических компонентов и хлорида в отходящем газе. В общем, на образование диоксинов сильное воздействие оказывает объем летучих веществ в шихте.

Диоксины образуются при 200 – 550 °C, в связи с этим температурные границы теплового процесса приобретают решающее

значение для концентрации выделившегося диоксина. Это означает, что, когда горячие отходящие газы металлургических процессов охлаждаются для очистки, то период времени, требуемый для преодоления температурного интервала, в котором происходит синтез (между 250 и 450 °C), должен быть как можно меньше. Таким образом, для достижения минимального содержания диоксинов в отходящих газах необходимы технологии, обеспечивающие по возможности быстрее охлаждение горячего отходящего газа до температуры ниже 250 °C.

До конца 1980-х годов для удаления пыли из отходящих газов аглофабрики использовали в основном процессы сухой очистки. Вследствие неуклонного ужесточения правил по охране окружающей среды сухая очистка пыли больше не могла удовлетворять требования технических условий по уровню содержания загрязняющих веществ в выбросах, в результате этого появилась газоочистка мокрого типа.

Большую проблему для эффективной очистки отходящих газов аглофабрики от пыли создают частицы размером менее микрометра, состоящие в основном из щелочных хлоридов. Они образуются при спекании сырых материалов, которые, как правило, содержат в небольших количествах щелочь и хлорид.

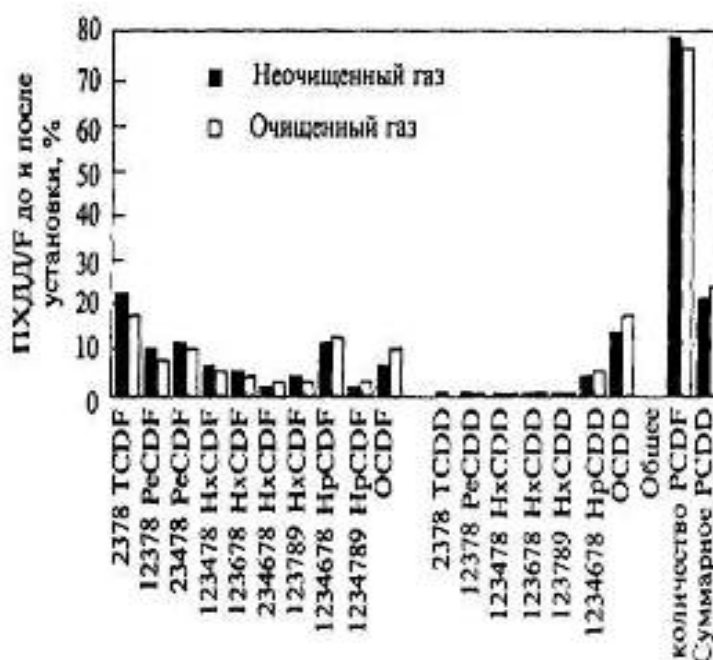


Рисунок 1. Типичный след родственных серий диоксинов и фураинов в отходящем газе аглофабрики

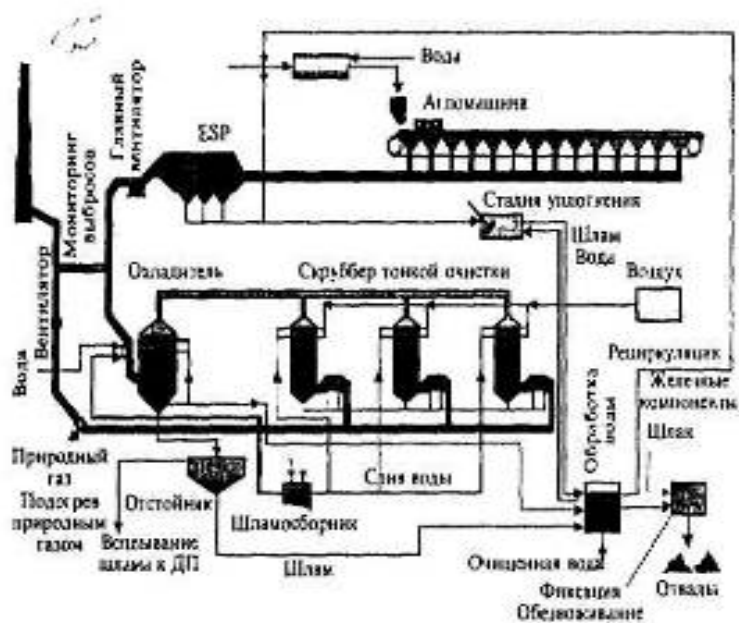


Рисунок 2. Основная технологическая схема процесса «Эрфайн» на предприятии «Фест- Альпине Шталь Линц»

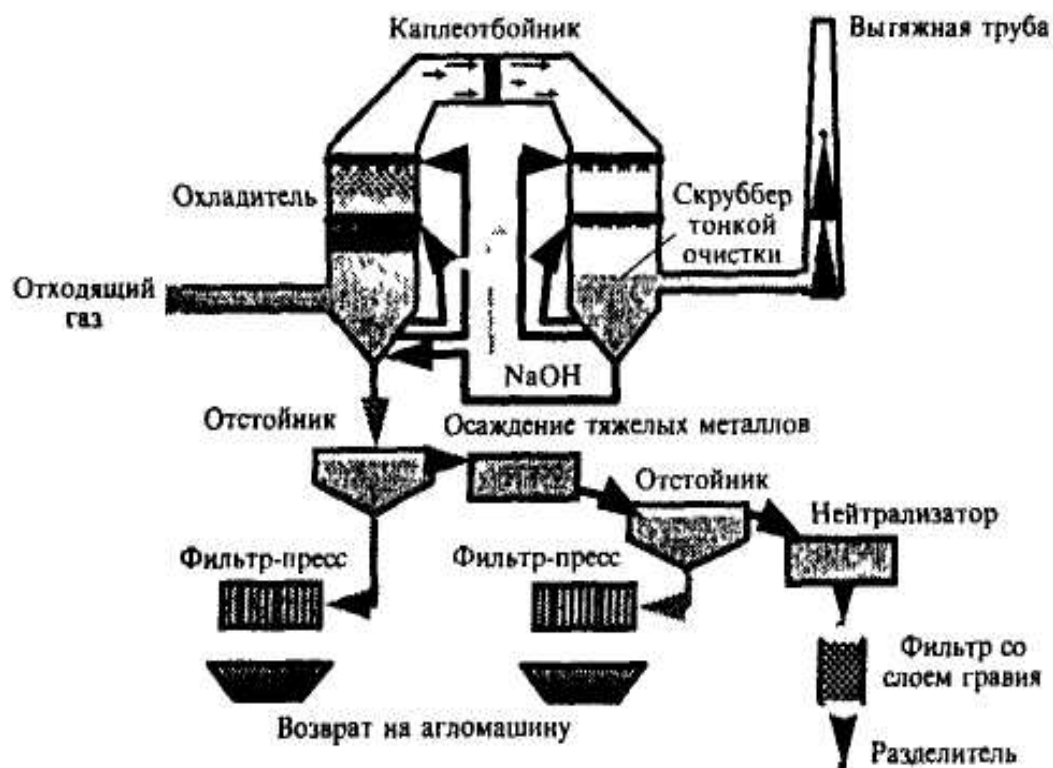


Рисунок 3. Принципиальная технологическая схема процесса «Эрфайн»

Как известно очистительная способность электростатических фильтров сухого типа резко снижается, если на удельное сопротивление пыли оказывает отрицательное влияние содержание щелочного хлорида.

Интенсивный поиск эффективного решения по отфильтровыванию субмикронной фракции отходящего газа аглофабрики привел к разработке процесса "Эрфайн® (Airfine®)". Установка очистки отходящих фуран. газов аглофабрики мокрого типа впервые успешно внедрена в 1993 г. на аглофабрике компании "Фест-Аль-пине Шталь Линц". С помощью данной системы одновременное извлечение пыли и других загрязняющих веществ, таких как  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , тяжелые металлы, диоксины и фураны, выполняется в едином процессе, как видно из технологической схемы, приведенной на (рисунке 2).

На заводе с полным металлургическим циклом компании "КОРУС" (Эймуйден, Нидерланды), смонтировали единственную установку "Эрфайн" с целью очистки общего объема отходящих газов с трех агломашин. Более того, десульфурацию проводили, вдувая каустическую соду в контур охлаждающей воды (рисунок 3).

В процессе "Эрфайн" можно выделить три основные стадии: охлаждения, отделения пыли и обработки воды. На стадии охлаждения отходящий газ охлаждается и насыщается. Крупные частицы (фракцией  $> 10\text{мкм}$ ) удаляются в результате вспыскивания распыленной циркуляционной воды в противоток отходящему газу посредством форсунок, работающих на одном виде жидкости. Десульфурацию выполняют путем добавки к циркуляционной воде охлаждения каустической соды  $\text{NaOH}$  гидрооксида магния  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  или известкового молока  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

На стадии отделения пыли в системе скруббера тонкой очистки специально разработанные форсунки двойного потока (патент ФАИ) впрыскивают воду и сжатый воздух в виде водовоздушной струи под высоким давлением. Это позволяет удалить мельчайшие частицы пыли и вредные компоненты (тяжелые металлы ПХДД/ПХДФ – полихлордибензодиоксин и полихлордибензофуран) со степенью эффективности, не достижимой при использовании типовых систем. Более чем 90% общего содержания пыли и аэрозоли эффективно устраняется из отходящих газов под воздействием инерционных сил, диффузии и местных эффектов перенасыщения.



На стадии обработки воды взвешенные твердые частицы и тяжелые металлы удаляют из сбросовых стоков данного процесса в установке обработки воды в три этапа: отделяют взвешенные твердые частицы (в основном компоненты железа) в бассейне-отстойнике, обезвоживают в камерном фильтр-прессе и возвращают на агломашину; удаляют тяжелые металлы в бассейне выпадения в осадок, добавляя известковое молоко, сульфид натрия и хлорид железа (III); выполняют тонкое фильтрование и конечную нейтрализацию очищенной воды.

Отделенные твердые частицы обезвоживают в камерном фильтр-прессе, выгружают в контейнер и складывают для переработки. С этой целью к отфильтрованной массе можно добавлять шлак

сталеплавильного процесса ЛД, который связывает тяжелые металлы в нерастворимую матрицу. Затраты на переработку отходов можно таким образом существенно снизить. На ряде предприятий 100 % шлама подвергают вторичной переработке без отрицательного воздействия на продукцию или ход процесса.

Диоксины обладают довольно высокой температурой испарения.

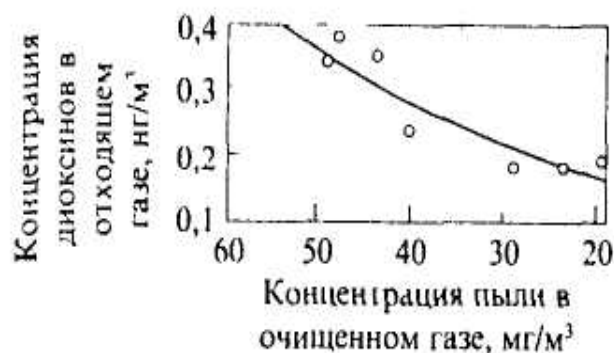


Рисунок 4. Соотношение между содержаниями диоксина и пыли в очищенном газе.

На стадии охлаждения в процессе "Эрфайн" температура отходящих газов аглофабрики быстро снижается, что не только сводит к минимуму образование диоксинов (новый синтез), но и вынуждает имеющиеся диоксины конденсироваться на поверхности частиц пыли. Кроме того, большая площадь поверхности мельчайших капелек воды, создаваемых форсунками двойного потока, способствует конденсации и/или поглощению газообразных

диоксинов. Диоксины, которые цепляются как за мелкие частицы пыли, так и за капельки воды, затем отделяются от газа в скруббере тонкой очистки, обуславливающим высокую очистительную эффективность процесса "Эрфайн" (рисунок 4).

Хлорид железа (III), который добавляют к сбрасываемой воде процесса "Эрфайн", в ходе обработки тяжелых металлов образует большое количество гидроксида железа (III), обеспечивающего удаление и последующее осаждение свободных и поглощенных из воды диоксинов. После обработки в камерном фильтр-прессе обезвоженные отфильтрованные осадки № 1 (содержащий нерастворимые твердые частицы) и № 2 (состоящий в основном из природного гипса и небольших объемов тяжелых металлов) могут быть возвращены на агломашину, где большая часть диоксинов распадается (рисунок 5). Из маслянистого шлама, скачиваемого с поверхности бассейна-отстойника, удаляют лишнюю воду и возвращают его на аглофабрику.

К основным источникам диоксинов на металлургическом предприятии относится также электродуговая печь. Металлолом, используемый для производства стали, обычно привносит масло, пластмассу и другие органические компоненты, поэтому требуется эффективное решение по переработке отходящих газов и устранению проблем, связанных с ними. С внедрением технологий предварительного подогрева металлолома в конце 1980-х годов были разработаны специальные технические решения по очистке отходящих газов с целью борьбы с возросшими объемами летучих органических соединений (ЛОС) и диоксинов, присутствующих в отходящих газах (рисунок 6).

Как предварительный подогрев металлолома, так и завалка скрапа с высокой загрязненностью маслом в ЭДП способствуют выделению ПХДД/ПХДФ в отходящие газы. Исследования показали, что для снижения концентрации этих ядовитых веществ наиболее эффективно использование последующего дожигания сразу за печью. Во избежание превращения разложившихся фракций вновь в ПХДД/ПХДФ необходимо, чтобы отходящие газы при охлаждении как можно быстрее преодолели температурный интервал, в котором происходит повторный синтез. В качестве эффективного метода зарекомендовало себя использование охлаждающих распылителей. С их помощью температуру отходящих газов печей можно снизить от 650 до 200 °С менее чем за 1 с. Применение форсунок с двойным

потоком, используемых в оборудовании “Эрфайн” так же ускоряет охлаждение.

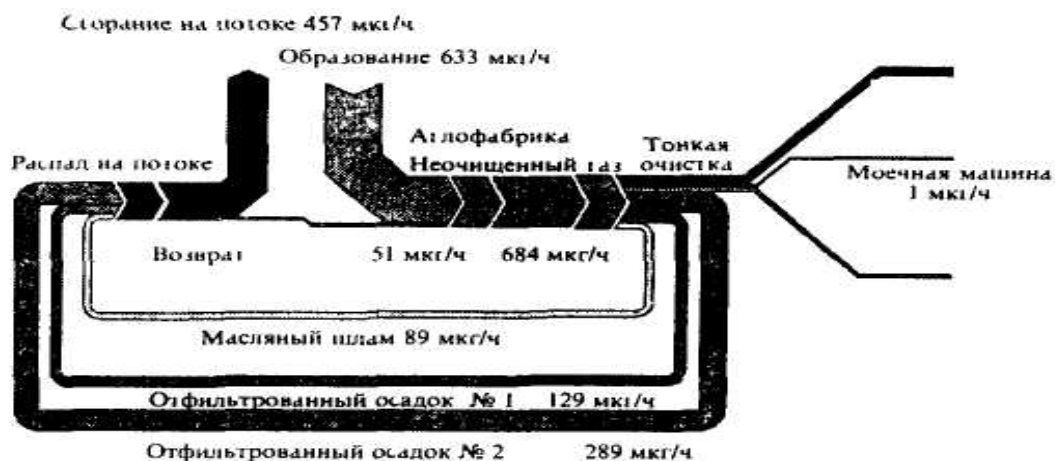
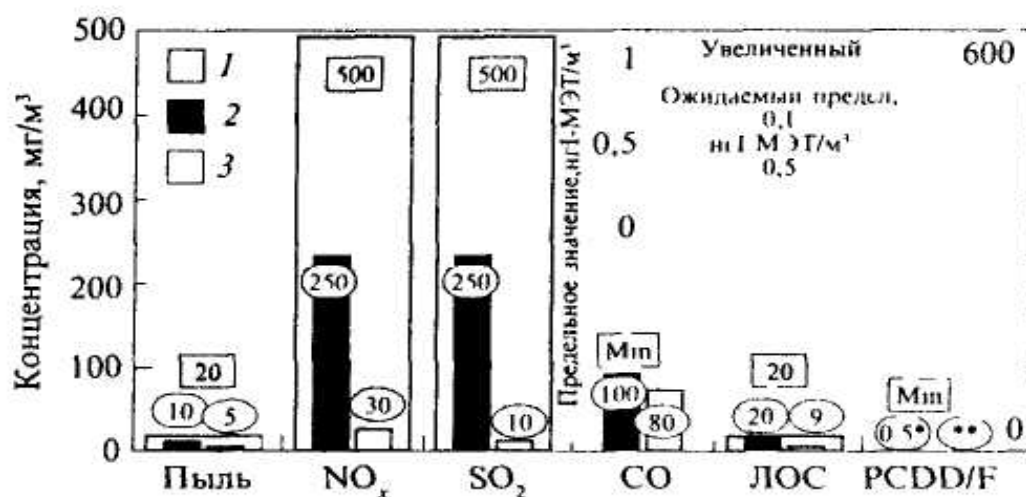


Рисунок 5. Цикл переработки побочной продукции



Рисунок 6. Схематическое изображение обработки отходящих газов из электродуговых печей.

Любые оставшиеся или же вновь образованные органические соединения могут быть удалены вдуванием таких адсорбентов, как активированный уголь и специальные виды кокса (лигнитовый кокс). При этом адсорбенты должны быстро и равномерно распределяться в потоке отходящего газа. Данная технология поглощения в электросталеплавильном производстве, известная под названием "наилучшая имеющаяся технология", минимизирует выбросы органических хлоринов, особенно ПХДД/ПХДФ и ПХД. С помощью этой технологии легко выполняются требования по выбросам пыли, монооксида углерода (CO), вредных компонентов (NO<sub>x</sub>), диоксида серы (SO<sub>2</sub>), ЛОС и ПХДД/ПХДФ (рисунок 7).



1- предельно допустимые концентрации по стандарту Германии; 2- предельные концентрации для данной установки; 3- номинальные для усовершенствованной системой очистки газа

Рисунок 7. Сравнение требуемых и фактических величин выброса из шахтной печи с удерживающими захватами:

В современных электродуговых печах реально получить концентрацию пыли менее чем  $5 \text{ мг/м}^3$  в очищенном газе с помощью тканевого фильтра. Дальнейшее уменьшение данной концентрации пыли не даст значительного снижения содержания ПХДД/ПХДФ в очищенном газе. Распределение родственных ПХДД/ПХДФ в очищенном отходящем газе ЭДП без вдувания адсорбентов почти такое же, как и в чистом отходящем газе с аглофабрики. Относительно эффективности удаления родственных веществ в отходящих газах ЭДП можно заметить разницу в работе с вдуванием адсорбента и без него (рисунок 8). Улавливающая способность тканевого фильтра без вдувания адсорбента колеблется от 50 до 85 %. При вдувании адсорбента удаляется -99,8 % фуранов, а диоксинов — 97,8 %. Выбросы ПХДД/ПХДФ сокращаются до величины менее  $0,1 \text{ нг 1-МЭТ/м}^3$ , что эквивалентно общей эффективности очистки примерно 99%.

При использовании тканевого фильтра снижение содержание ПХДД/ПХДФ в отходящих газах в основном зависит от температуры газа на входе в фильтр, когда в поток отходящих газов не вдуваются адсорбенты. В общем, температура должна быть менее  $80^\circ\text{C}$  однако следует не забывать о проблеме потенциальной конденсации.

### **Контрольные вопросы:**

- 1 Понятие о системе Эрфайн
- 2 Дайте определение понятию диоксин
- 3 Назвать три основные стадии на которые подразделяется процесс в Эрфайн

### **Список литературы:**

- 1 Мартыненко В.А., Кухарь А.С. Производство агломерата. – М.: Metallurgy, 1985. – 72с.
- 2 Селезнев А.Е. Оборудование агломерационных фабрик черной металлургии. М.: Metallurgy, 1960. – 316с.
- 3 Геберт В., Ленер Й.,// Сталь. 2001. №12. С.81 – 84.

## **Лекция №2. Новая система газоочистки “Ветфайн” для цехов по производству агломерата и окатышей.**

### **1. Система “Ветфайн”**

#### **2. Водоочистка**

Сначала отходящий газ направляется на душирующее устройство по принципу противотока. После предварительной очистки он поступает через каплеотделитель в мокрый электрофильтр, а затем через дымовую (выводную) трубу выбрасывается в атмосферу. Система "Ветфайн" спроектирована в соответствии со специфическими требованиями конкретного объекта. Данная система состоит из модулей и рассчитана на большие объемы отходящего газа — свыше 2000 тыс. м<sup>3</sup>/ч (при стандартных температуре и давлении). Каждый модуль способен перерабатывать поток газа объемом 70 - 300 м<sup>3</sup>/ч. Таким образом, компоновка системы может быть достаточно гибкой и приспособлена к потребностям предприятия (рисунок 8).

#### **Секция душирования**

Для оптимальной работы установки "Ветфайн" требуется насыщенное состояние газа. Секция душирования обеспечивает быстрое охлаждение, насыщения и предварительное удаление крупных частиц в процессе обработки с использованием рециркулируемой воды. Воду для душирования подают ступени распыления, где ее пульверизируют с помощью форсунок. При помощи такой системы можно получить эффективное соотношение жидкость/газ — 0,005 - 0,008 л/м<sup>3</sup> (при

нормальных температуре и давлении). В процессе циркуляции распыленной воды поглощаются кислотные газообразные компоненты, в том числе хлористый водород  $\text{HCl}$ , фтористый водород  $\text{HF}$  и диоксид серы  $\text{SO}_2$ , вследствие их высокой растворимости в воде. В результате вода становится исключительно кислой, pH приближается к 1.

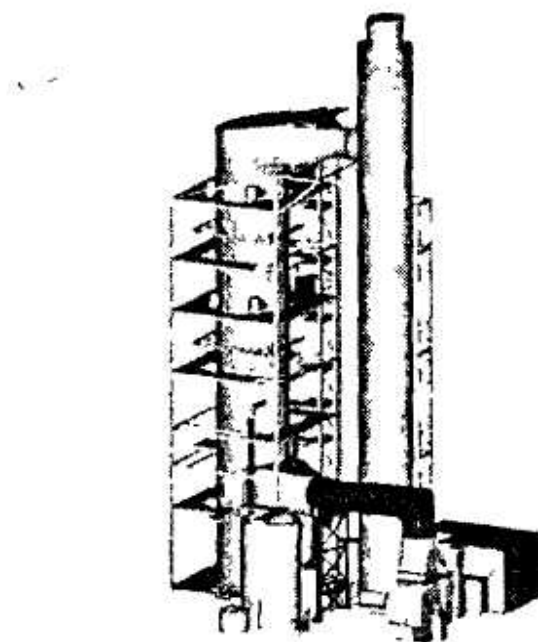


Рисунок 8. Модель системы «Ветфайн» с дымососом, вытяжной трубой и системой водоснабжения

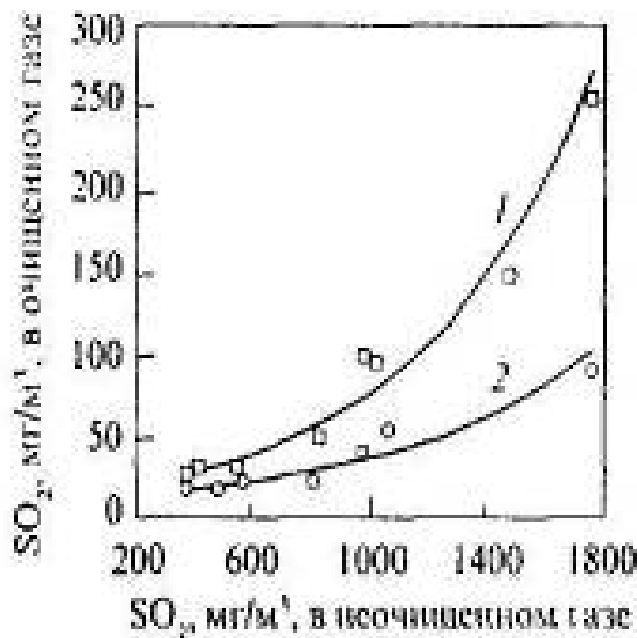
Для десульфурации к циркуляционной воде могут быть добавлены щелочные вещества — известняк  $\text{CaCO}_3$ , известковое молоко  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , гидроксид магния  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , или каустическая сода  $\text{NaOH}$ . Степень десульфурации регулируется с помощью показателя pH и усыновленного соотношения жидкость/газ (рисунок 9). Поглощение и частичная конденсация газообразных ПХДД/ПХДФ (диоксинов и фуранов) и других органических компонентов с высокой температурой испарения происходят в процессе охлаждения в душирующей секции. Это значит, что большая часть органических компонентов, поступивших в душирующую секцию в виде газа, превращается в макрочастицы или находится в поглощенном состоянии на поверхности водяных капелек или мельчайших частиц пыли, благодаря чему эти

компоненты в значительной степени могут быть удалены из отходящего газа.

С целью поддержания постоянной концентрации взвешенных твердых частиц и растворенных веществ воду постоянно сливают из бассейна душирующей секции, регулируя с помощью электрической проводимости потока отходящих газов. Увлеченные потоком капельки воды отделяются в капелеотделителе еще до того, как газ поступает в мокрый электрофильтр.

### Электрофильтр мокрой очистки

Мелкая пыль газового потока улавливается электростатическими силами, воздействующими на ее частицы, которые получают электрический заряд с помощью двух различных механизмов. Частицы большого размера ( $> 1$  мкм) заряжаются, когда они сталкиваются с движущимися ионами газа (зарядка полем), а более мелкие частицы ( $< 0,2$  мкм) — в основном диффузией (беспорядочное движение газовых ионов вокруг частиц). Таким образом, эффективность улавливания частиц размером от 0,2 до 1 мкм низкая. В данном диапазоне оба механизма лишь незначительно воздействуют на зарядку частиц. Для эффективной зарядки всех частиц требуется высокая плотность тока, которая обеспечивается с помощью специальной конструкции коронирующих электродов.



1- низкое; 2- высокое соотношение жидкость/газ

Рисунок 9. Эффективность удаления  $SO_2$  как функция соотношения жидкость/газ:

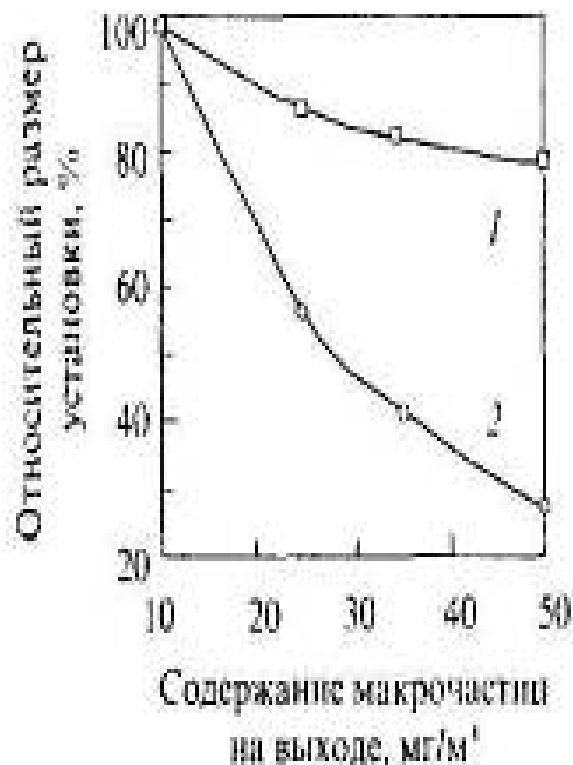


Рисунок 10. Зависимость энергопотребления (1) и поверхности осаждения (2) от содержания пыли в очищенном газе

После получения заряда частицы перемещаются в сильном однородном электростатическом поле к коллекторным электродам. Общее миграционное ускорение частиц зависит от распределения электрического поля между коронирующими (отрицательными) и коллекторными (положительными) электродами, а также от разницы напряжения между электродами. Как только заряженные частицы достигают коллекторных электродов, они разряжаются на них и периодически удаляются впрыскиванием воды. Таким образом, исключается необходимость в оборудовании системы стряхивания. Триоксид серы  $SO_3$  в условиях водонасыщенности образует аэрозоль, поскольку вода конденсируется на  $SO_3$ . Распыленные в воздухе частицы обладают исключительно малыми диаметрами и должны оседать в таком пылеуловителе, как мокрый электрофильтр, размер которого зависит от требуемой концентрации пыли в очищенном газе. Это также соотносится с энергопотреблением данной системы (рисунок 10).

Установка "Ветфайн" не имеет таких эксплуатационных недостатков сухих электрофильтров, как обратный выброс и



повторный захват частиц потоком газа. Водяная пленка на частицах пыли снижает электросопротивление пыли, и когда на коллекторных электродах имеется водяная пленка, то не возникает проблем обратного коронирования. Сплошная влажная пыль на коллекторном электроде предотвращает повторный захват частиц потоком газа. В ходе душирования отходящий газ быстро охлаждается, что сводит к минимуму образование диоксинов (повторный синтез) и приводит к поглощению содержащихся диоксинов и их конденсации на поверхности частиц пыли. Эти диоксины затем отделяются от газа мокрым ЭФ. Именно благодаря этому получена исключительная эффективность очистки данной системы (рисунок 11).

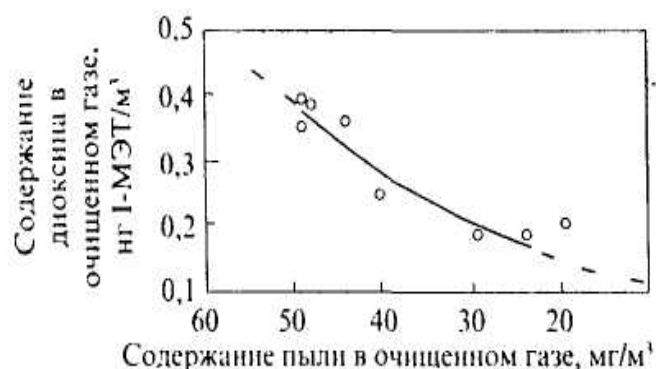


Рисунок 11. Содержание диоксина в очищенном газе в зависимости от содержания в нем пыли

Каждый модуль снабжается двумя последовательно расположенными секциями мокрого ЭФ с целью обеспечения высокоэффективного улавливания тяжелоулавливаемых частиц пыли. Наконец, высокопроизводительные каплеотделители устраняют капельки из потока газа перед выпуском его в дымоход и затем вобъем в атмосферу. Ниже приведены типичные (мировые) показатели уровня выбросов аглоцехов( неочищенный газ до улвливания пли ), мг/м3

Пыль	400 – 800
Sox	400 – 1000
NOx	230 – 370
Pb	1 – 10
Zn	0,1 – 1

НСI	1 – 20
HF 0,1 – 2	
Hg 150	
Углеводороды	20 – 90
ПХДД/ПХДФ	0,5 – 5,0

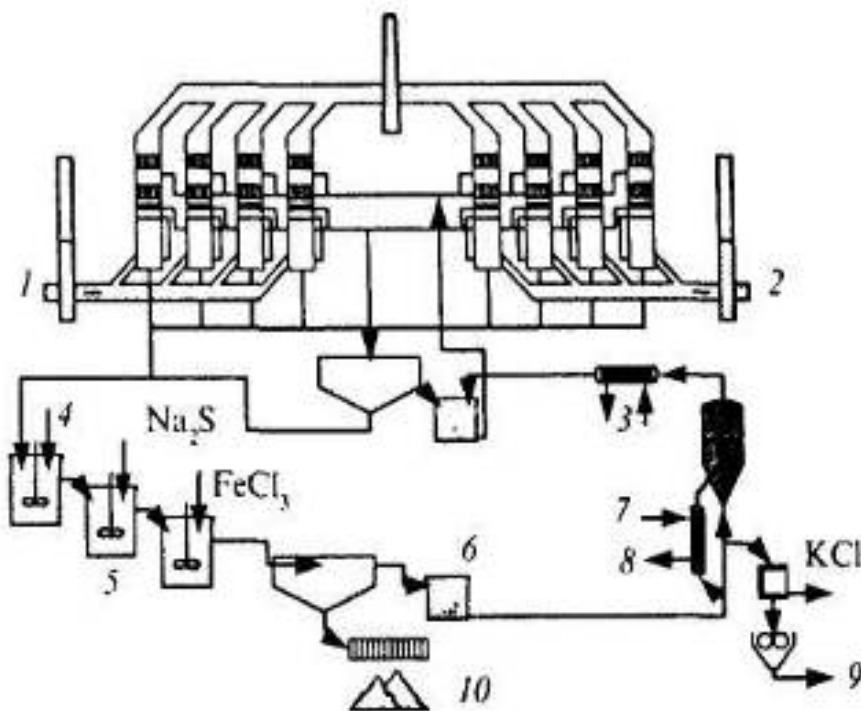
### **Система циркуляции и воды**

Система "Ветфайн" состоит из двух водяных контуров — душирования и промывки мокрого ЭФ — спроектированных для обеспечения производительной работы установки при минимальном расходе воды. В секции душирования вода впрыскивается в поток газа для охлаждения, насыщения и улавливания крупных частиц пыли. Данная вода циркулирует, и растворенные твердые вещества концентрируются, испаряясь за счет тепловой энергии газового потока. Концентрация в водяном контуре поддерживается на постоянном уровне подпиткой воды из водяных контуров мокрого ЭФ и сбросом на установку водоочистки. Эта концентрация регулируется с помощью электрической проводимости воды. Пена, образующаяся в результате конденсации органических веществ из потока газа, удаляется вместе со сбрасываемой водой. Подпиточную воду подают в промывочный контур и используют для очистки коллекторных электродов и каплеотделителей. Из промывочного контура после очистительных контуров вода поступает на контур душирования.

Поскольку для работы системы "Ветфайн" используется вода, то образуется определенный объем загрязненной сточной воды, требующей очистки. Стоки могут быть очищены до разного конечного состояния в зависимости от возможности сбыта и планируемых объемов сточной воды и уловленных твердых веществ. Исследованы следующие варианты:

- извлечение тяжелых металлов, выпаривание оставшейся воды и сбыт солей;
- одноступенчатое испарение оставшейся воды без предварительного извлечения тяжелых металлов и выбрасывание твердого осадка в отвалы;
- извлечение тяжелых металлов и сброс воды в соответствующую канализационную систему.

Извлечение тяжелых металлов и выпаривание.



1,2- аглоцеха А и Б; 3 – охлаждающая вода; 4 – известковое молоко; 5 – очистка воды; 6 – буферная ёмкость; 7 –пар; 8 – конденсат; 9 – сухой продукт; 10 – осадок на фильтре

Рисунок 12. Основная технологическая схема системы «Ветфайн» с нулевым сбросом воды:

При данном варианте необходимо, чтобы тяжелые металлы выпали в осадок в ходе двухступенчатого процесса — нейтрализация кислотной воды известковым молоком  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и добавка сульфида натрия  $\text{Na}_2\text{S}$  для обеспечения эффективного выпадения в осадок гидрооксидов и сульфидов тяжелых металлов. Затем к раствору добавляют хлорид железа (III) —  $\text{FeCl}_3$ , в качестве хлопьеобразующего агента. Шлам удаляют, а оставшуюся жидкость можно обрабатывать в установке испарения и кристаллизации. Осадок тяжелых металлов на фильтре может быть выброшен в отвал на обычную площадку, потому что смесь в отвале стабильна и не допускает выщелачивания тяжелых металлов. После переработки жидкости на установке испарения и кристаллизации осадок состоит из хлорида калия и небольших количеств других компонентов. Такой вариант обеспечивает решение с нулевым выбросом в отходы (рисунок 12).

#### **Одноступенчатое испарение.**

Смесь тяжелых металлов и солей можно испарить и кристаллизовать без предварительного извлечения тяжелых металлов,

пропуская жидкость через сушилку с распылением. Конечный продукт будет представлять собой соль с некоторым содержанием тяжелых металлов. Этот вариант уменьшает затраты и объем тяжелых веществ.

### **Установка водоочистки**

Обработка сбросовой воды включает три этапа:

- 1) нейтрализацию кислотной воды с помощью  $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- 2) добавку сульфида натрия  $\text{Na}_2\text{S}$  для обеспечения эффективного выпадения. В осадок гидрооксидов и сульфидов;
- 3) присадку  $\text{FeCl}_3$  в качестве хлопьеобразующего агента.

После такой обработки шлам пропускают через отстойник с целью удаления твердых веществ, находящихся во взвешенном состоянии. Окончательным этапом является регулирование показателя pH обработанной воды до нейтрального диапазона с помощью соляной кислоты и сброс воды в соответствующую канализационную систему. В случае необходимости возможна конечная очистка при помощи песчаного фильтра или фильтра с активированным углем.

### **Эффективность улавливания**

Как показано ниже, система "Ветфайн" является эффективным решением для очистки, %, отходящего газа в течение длительного периода измерения в аглоцехе:

Таблица 1.

Элемент	Средний показатель	Лучший показатель
Пыль	91,3	98,1
Органические соединения	44,4	87,1
$\text{SO}_2$	15,0	26,0
$\text{SO}_3$	60,7	89,4
$\text{SO}_x$	80,0	95,0
$\text{HF}$	67,2	89,2
$\text{HCl}$	95,4	97,1
$\text{NH}_3$	85,2	87,1
ПХДД/ПХДФ	93,1	95,4

### **Контрольные вопросы:**

- 1 Понятие о системе Ветфайн
- 2 Дать определение водоочистки
- 3 На какие группы делится процесс водоочистки
- 4 Секция душирования
- 5 Электрофильтр мокрой очистки

- 6 Система циркуляции воды
- 7 Процесс работы одноступенчатого испарения
- 8 Установка водоочистки
- 9 В чем принцип эффективности улавливания

### **Список литературы:**

- 1 Харанау Э.Л.М., Видал Ж.А.Н., Рамплъ Х., Гоулд Л. // Сталь. 1999. №4. С.3 – 6.
- 2 Брусиловский В.Г. Производство извести. М.: Энергоатомиздат.-1976.-458с.
- 3 Монастырев А. С. Печи для производства извести. М.:Метеллургия.-1986.-344с.

## **Лекция №3. Газоочистка известеобжигового производства**

### **1. Технологическая схема движения материала**

### **2. Вращающиеся печи**

Известняк в железнодорожных вагонах поступает на вагоноопрокидыватель и разгружается в его бункеры.

Перед разгрузкой на склад или загрузкой расходных бункеров печей известняк проходит грохочение на грохоте с отверстиями решетки 20 мм и на неподвижной решетке с расстоянием между прутьями до 20 мм, где происходит отсев известняка крупностью менее 20 мм.

Производительность грохота должна составлять не более 500 т/час известняка, подвергаемого грохочению, и регулируется перекрытием шиберов на бункерах. Высота слоя известняка при грохочении не должна превышать 120 мм (двойную толщину верхнего предела крупности известняка — 60 мм).

Угол наклона неподвижной решетки должен составлять 45 град., высота слоя известняка на ней не должна превышать толщину верхнего предела крупности известняка — 60 мм.

Машинист вагоноопрокидывателя в агрегатном журнале записывает количество известняка (количество вагонов), шихтовщик — сведения о работе грохотов и о состоянии оборудования (решеток при приемке смен и об очистке поверхностей решеток).

Очистка поверхности решеток осуществляется при грохочении сухого известняка после каждой кантовки; при грохочении влажного

известняка — при визуальном определении забивания до 30 % поверхности решетки, но не реже, чем через 1,5-2,0 часа работы грохота. Очистку грохота производят с мостиков, выполненных внутри обшивки грохота. Допускается одновременное параллельное грохочение известняка на решетке и грохоте с разделением потока пополам. После отсева мелкой фракции известняк фракции 20-60 мм поступает на склад известняка вращающихся печей. Перед поступлением на склад известняк подвергается магнитной сепарации на железоотделителе ЭП2М для удаления металлических включений. Со склада системой транспортеров известняк подается в расходные бункеры печей. Из расходных бункеров известняк поступает в шахтный подогреватель, где происходит его частичная декарбонизация и подогрев до температуры 500-750 °С. При подаче известняка из расходного бункера печи в приемные шахты подогревателя, машинист котлов должен осуществлять один раз в полчаса контроль за равномерностью схода известняка по шахтам с устранением причин зависаний известняка, а также обеспечивать закрытие смотровых люков с отметкой в журнале ежечасно. Подогрев известняка в подогревателе осуществляется дымовыми газами. Температура дымовых (отходящих) газов на входе в подогреватель поддерживается в пределах от 900 до 980 °С.

Из подогревателя известняк поступает на качающийся питатель, который регулирует подачу известняка в печь. Максимальный массовый расход известняка, который может обеспечить питатель — 56 т/час. С качающегося питателя известняк через загрузочную головку подается в печь. Известь из печи поступает в шахтный охладитель извести, где охлаждается вентиляторным воздухом. Температура извести на выходе из охладителя должна быть не более 60 °С. Охлажденная известь транспортерами подается в здание склада извести. Перед загрузкой в расходные бункеры готовой извести известь проходит через грохот для отсева пыли и мелочи фракции менее 10 мм. При необходимости увеличения количества отсева извести допускается осуществлять отсев пыли и мелочи фракции менее 20 мм. В этом случае качество извести, отгружаемой в конвертерный цех, должно соответствовать СТП 232-109-2002. Высота слоя извести на решетке не должна превышать 80 мм, а угол наклона решетки должен быть от 40 до 45 град. После отсева пыли и мелочи крупная фракция извести по течкам передается на реверсивные челноковые конвейеры, которыми распределяется по

бункерам готовой извести. Известь крупностью от 0 до 10 мм или от 0 до 20 мм по системе течек загружается в бункеры отсева извести 4.4

Воздух для горения в печь подается вентилятором. Регулировку объемного расхода воздуха осуществлять в соответствии с тепловым режимом.

#### **Горизонтальная вращающаяся механическая печь.**

Материал, подлежащий обжигу, загружается в печь (рисунок 13) через желоб 1 и вследствие наклонного положения барабана печи 2 перемещается к разгрузочной части, где через откатную камеру 3 выгружается в охлаждающий барабан 4. Топливо (пылеуголь, жидкое топливо, газ) подается через форсунку 5 в откатной камере, газы, уходя из печи, уносят с собой большое количество пыли, частично осаждающейся в пылеуловительной камере 6. Для ускорения охлаждения извести охлаждающий барабан располагается в ванне 7, через которую пропускается вода.

К преимуществам вращающихся печей следует отнести: полную механизацию работ, равномерность обжига и однородность зернового состава выгружаемой извести; возможность применения разнообразных видов топлива (газового, жидкого, пылевидного) и обжига рыхлых и высоковлажных пород известняка (или мела).

К недостаткам вращающихся печей относятся:

- увеличенный удельный расход топлива;
- низкий термический коэффициент полезного действия, вызываемый, главным образом, плохими условиями для передачи тепла от газов к обжигаемому материалу;
- большие первоначальные затраты на 1 т мощности;
- большой расход металла на 1 т мощности;
- значительный унос из печи и из холодильника пыли, для улавливания которой требуется большой объем пылеосадительных камер;
- повышенная скорость прохождения обжигаемого материала (в несколько раз больше скорости в шахтных печах);
- загрязнение извести золой при пылевидном топливе и образование вследствие присадки золы спекшейся пленки, затрудняющей гашение извести;
- большой процент пережога при сжигании жидкого топлива.

В зависимости от длины печи и качества топлива удельный расход тепла, по данным практики, составляет 1800—2200 ккал/кг полученной СаО при обжиге известняка и 2900—3300 ккал/кг при

обжиге известкового шлама. С увеличением длины печи (при всех в прочих равных условиях) температура отходящих газов снижается, поэтому на практике стремятся к установке возможно более длинных печей. Однако длина печи имеет оптимальный предел, и увеличение отношения длины печи к ее диаметру выше 50 считается экономически нецелесообразным. У большинства действующих печей отношение длины к диаметру печей значительно меньше пятидесяти.

В настоящее время имеются печи длиной в 128 м и производительностью 300 т извести в сутки.

Газы, проходящие над обжигаемым материалом в печи (при коэффициенте заполнения барабана материалом от 8 до 15%), передают свое тепло обжигаемому материалу, главным образом лучеиспусканием и конвекцией, в результате чего эти печи имеют низкий термический коэффициент полезного действия. Для сравнения в таблице 2 приводятся тепловые балансы печей для обжига.

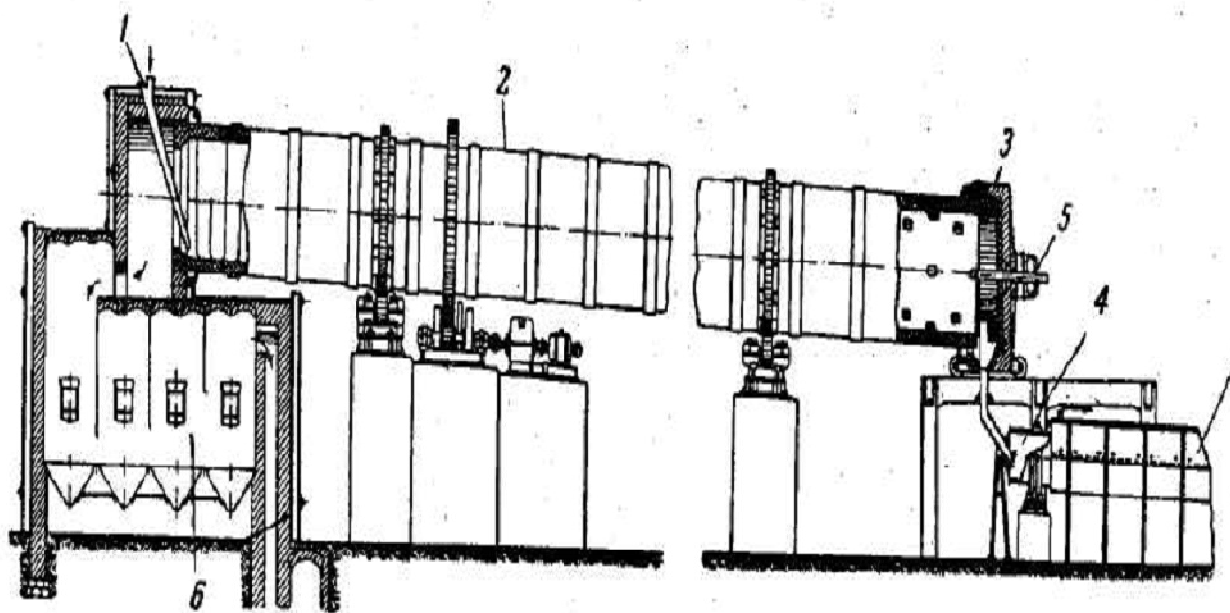


Рисунок 13. Трубчатая печь

Таблица 2. Тепловые балансы шахтной и вращающейся известково-обжигательных печей (в %)

Наименование расходных статей  
Вращающаяся

Шахтная



Полезный расход тепла, %.....	55,5	33,0
Потери тепла . .".....	44,5	67,0
В том числе: с сухими отходящими газами . .		9,521,4
с водяными парами из топлива	12,2	14,7
с водяными парами из известняка	4,3	5,8
с избыточным воздухом.....	1,3	2,0
от химического недожога ....	3,0	-
с выгруженной известью ....	5,0	9,5
в окружающее пространство . . .	9,2	13,6

**Примечание.** Для сравнения приведены данные по печам, работающим на природном газе о теплотворной способностью 8900 ккал/м<sup>3</sup>. При сравнительных испытаниях температура отходящих газов шахтной печи составляла 300°, а вращающейся— 630°.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1 Понятие о технологической схеме движения материала
- 2 Принцип работы горизонтальной вращающейся механической печи
- 3 Недостатки работы горизонтальной вращающейся механической печи

#### **Список литературы:**

- 1 Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. М.: Металлургия, 1990. - 400 с.
- 2 Очистка технологических газов в черной металлургии. Толочко А.И., Филиппов В.И., Филиппьев О.В. М.: Металлургия, 1982. -280 с.
- 3 Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. Андоньев С.М., Зайцев Ю.С., Филиппьев О.В. Харьков, 1998. - 320 с.

### **Лекция №4. Газоочистка известеобжигового производства**

#### **1. Шахтные пересыпные и газовые печи**

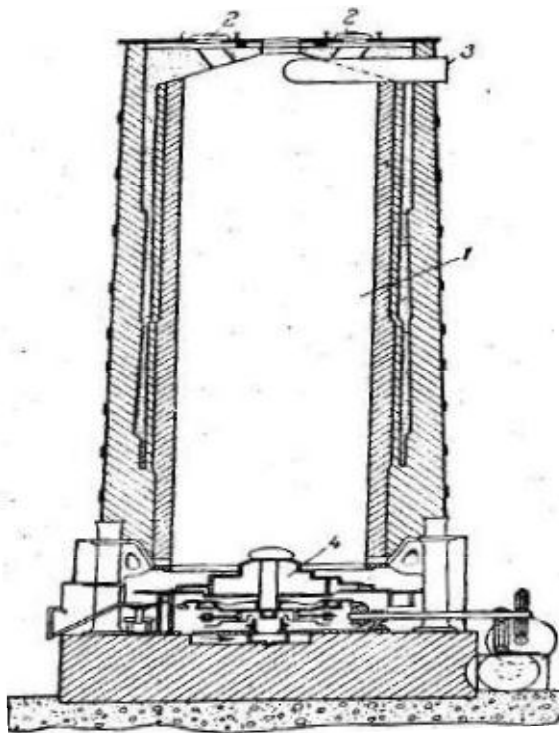
#### **2. Природоохранные мероприятия**

В пересыпных печах (рисунок 14.) известняк вместе с топливом загружается в шахту 1 сверху печи через загрузочные люки 2 и постепенно, по мере выгрузки готовой извести, опускается вниз, проходя зоны подогрева, обжига и охлаждения. Топливо, опускаясь

также вниз, сгорает, выделяя тепло, необходимое для обжига известняка. Газы удаляются через газоотвод 3, а готовая известь-с помощью выгрузочного механизма 4.

Воздух для горения топлива входит снизу печи, нагреваясь в зоне охлаждения от соприкосновения с горячей известью, которая при этом охлаждается. Продукты горения топлива, смешиваясь с углекислотой, выделившейся от разложения известняка, поднимаются вверх. Проходя в зоне подогрева между кусками свежее загруженного известняка и топлива, печные газы нагревают их, а сами, при этом охлаждаясь, удаляются через верхнюю часть печи.

Теплопередача в этих печах имеет существенные особенности. Процессы теплообмена здесь происходят в слое кусковых материалов, через которые проходят газы, следовательно, шахтные печи представляют собой противоточный теплообменный аппарат. Благодаря противоточному теплообменному принципу, при котором используется теплота отходящих газов для подогрева свежее загруженного известняка и топлива, а также теплота горячей извести для подогрева воздуха, необходимого для сжигания топлива, расход топлива в шахтных пересыпных печах всегда меньше, чем в печах других типов.



1— шахта; 2—загрузочные люки; 3—газоотвод; 4 — механизм для выгрузки извести.

Рисунок 15. Шахтная пересыпная известково-обжигательная печь:

Подача топлива в пересыпные печи может происходить несколькими способами:

- топливо предварительно смешивается с известняком и в таком виде подается в печь;
- топливо и известняк подаются последовательно и загружаются послойно;
- топливо спрессовывается с дробленым известняком и загружается в печь в виде «черных» брикетов.

Пересыпные печи просты по конструкции, строительству и надежны в эксплуатации.

Сечение шахты пересыпных печей обычно круглое, что имеет ряд преимуществ по сравнению с прямоугольным как в строительном отношении, так и вследствие уменьшения наружного охлаждения печи и обеспечения равномерности распределения шихты и газов по сечению шахты. Следует отметить, что последнее преимущество имеет место при сохранении цилиндрической формы шахты по всей высоте печи и при постоянстве зернового состава как известняка, так и топлива. В случае же значительного колебания зернового состава известняка и топлива цилиндрическая форма шахты может не обеспечить равномерного распределения шихты и газов по сечению шахты по всей ее высоте.

В случае резкого колебания зернового состава известняка и топлива, при загрузке в печь более крупные куски располагаются у периферии, а более мелкие у центра печи. В этих условиях основное горение в печи будет происходить по периферии шахты, сопровождающееся местным перегревом футеровки и преждевременным выходом ее из строя.

Следовательно, колебания в зерновом составе известняка не дают возможности поддерживать равномерность процесса горения в печи, являющуюся основным условием хорошего использования теплоты газов, образующихся от сгорания топлива.

Равномерность процесса горения в печи возможна только при одинаковых скоростях продвижения газов по всему сечению печи. Поскольку газы, поднимаясь вверх по печи, выбирают путь наименьшего сопротивления, который будет там, где сосредоточено больше крупных кусков, т.е. у стен печи, скорость продвижения газов у стен печи будет всегда больше, чем в центре.

Явление уменьшения скорости продвижения газов в центре печи по сравнению со скоростью у стен печи называют «эффектом

стенки».

При резком колебании зернового состава коническая форма шахты более приемлема, так как она, по мере опускания шихты вниз, благоприятствует отдалению от стенок печи местных очагов горения. Чем больше разность диаметров верхнего основания и распара печи, тем благоприятнее протекают условия обжига. Следовательно, цилиндрическая форма шахты печи приемлема только в случае обеспечения постоянства зернового состава известняка и топлива.

Объемное напряжение шахты в пересыпных печах выше, чем в газовых. Пересыпные печи являются наиболее распространенными и в основном наиболее мощными.

Достоинства пересыпных печей:

- расход топлива меньше, чем в печах других типов, благодаря противоточному теплообменному принципу
- пересыпные печи просты по конструкции, строительству и надежны в эксплуатации
- при сохранении цилиндрической формы шахты по всей высоте печи и при постоянстве зернового состава как известняка, так и топлива, уменьшение наружного охлаждения печи и обеспечение равномерности распределения шихты и газов по сечению шахты

Недостатком этих печей является то, что:

- в них могут применяться только короткопламенные виды топлива, так как сжигание длиннопламенного топлива связано с пониженным использованием калорийности топлива.
- в них известь получается загрязненной золой, шлаками и остатками несгоревшего топлива, что для ряда производств-потребителей является нежелательным.

В тех случаях, когда требуется установка печей большой производительности, требования к чистоте извести небольшие и имеется поблизости источник обеспечения короткопламенным топливом, целесообразно обжиг карбонатного сырья вести в пересыпных печах.

В газовых печах известняк загружается отдельно сверху печи, топливо предварительно сжигается в топках, а полученные газообразные продукты (полного сгорания топлива, полугаз или генераторный газ) вводятся в шахту печи примерно на  $1/3$  высоты от низа.

Газовые печи по способу сжигания топлива разделяются на:

- печи с выносными топками полного сгорания;

- с выносными топками неполного сгорания (полугазовыми топками);
- работающие на генераторном газе.

Состоят из двух основных элементов: топки, в которой происходит полное или неполное сжигание топлива, и шахты, в которой производится собственно обжиг известняка за счет только тепла топочных газов или за счет тепла от догорания топочных газов, поступающих в шахту печи.

В топках полного сгорания топливо сжигается на колосниках полностью с необходимым избытком воздуха. Дымовые газы, нагретые до температуры 1100—1200°, поступают в зону обжига, где передают свое тепло известняку, нагревая его до температуры разложения, а затем, пройдя зону подогрева, удаляются в атмосферу.

Учитывая, что в зоне обжига горения топлива не происходит, нет необходимости подводить сюда воздух из зоны охлаждения, так как этот воздух, смешиваясь с дымовыми газами, только снижал бы их температуру, что отрицательно отразилось бы на скорости обжига. Поэтому зона охлаждения в печах с выносными топками полного сгорания должна быть плотно закрыта снизу. Известь из зоны охлаждения выходит очень горячей, что обуславливает повышенную потерю тепла, а следовательно, и повышенный расход топлива на обжиг, не говоря уже о том, что при выгрузке горячей извести ухудшаются условия труда.

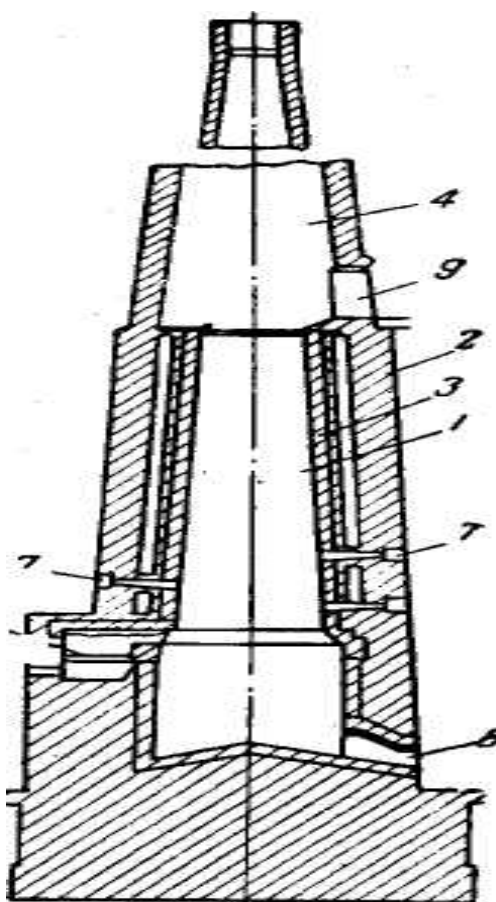
Кроме того, потеря тепла происходит также от остывания наружных стен самих выносных топок, в результате чего в печах с выносными топками полного сгорания всегда расходуется больше топлива, чем в печах других конструкций; обычно этот расход составляет ~23% условного топлива от веса извести.

Обжиг известняка продуктами полного сгорания обычно производится в печах малой емкости (до 50 м<sup>3</sup>), и производительность их обычно не превышает 10—25 т обожженной извести в сутки. По условиям сжигания топлива наивысшая температура газов достигается не в шахте печи, не в зоне обжига, а в топках и газовых окнах, что приводит в отдельных случаях к быстрому разрушению кладки в этих местах. Относительно невысокая температура газов в зоне обжига, достигаемая в печах с топками полного сгорания, а вследствие этого их малая производительность ограничивают применение этого типа печей для обжига известняка. В настоящее время печи с топками полного сгорания редко применяются для обжига известняка.

На рис. 16. показана шахтная печь с топками полного сгорания. Печь представляет собой шахту 1, снаружи выложенную обыкновенным красным кирпичом 2, а внутри— огнеупорным кирпичом 3. Продолжением шахты печи является дымовая труба 4.

Для обеспечения равномерности обжига известняка по всему сечению шахты предусматриваются несколько, обычно 4—6, небольших размеров топок 5, расположенных вокруг шахты, с колосниковыми решетками 6, на которых сжигается длиннопламенное топливо.

В шахте имеется ряд смотровых отверстий 7 для наблюдения за работой печи.



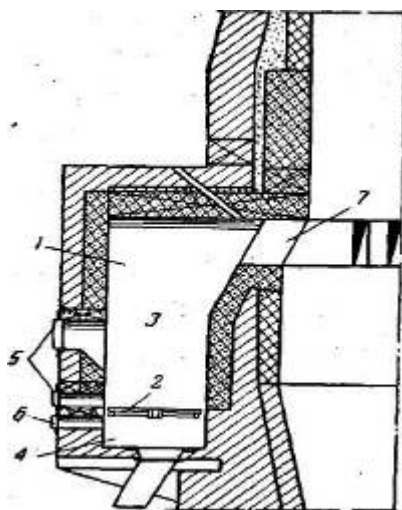
- 1 — шахта; 2 — наружная кладка из красного кирпича; 3 — кладка из огнеупорного кирпича; 4 — дымовая труба; 5 — выносная топка полного сгорания; 6 — колосниковая решетка; 7 — смотровое отверстие; 8 — выгрузочное отверстие; 9 — загрузочное отверстие.

Рисунок 16. Шахтная газовая известково-обжигательная печь с выносными топками полного сгорания:

Выгрузка извести из печи производится через лотки 8. Внутри печи над шахтой проложены рельсы, по которым в печь через

загрузочные отверстия 9 вводится тележка с известняком. Эти тележки имеют раскрывающееся дно, и при поворотах рычага весь известняк из тележки высыпается в печь. В печах с выносными топками полного сгорания может быть использовано любое длиннопламенное топливо, позволяющее получить в топке температуру 1000—1200°.

Для уменьшения охлаждения горячих газов по пути из топок в шахту печи, топки располагают возможно ближе к газовым окнам. Топки полного сгорания располагаются на 1/3 высоты шахты, и в большинстве случаев в них используются местные виды топлива.



1 — камера сгорания; 2 — колосниковая решетка; 3 — топочная камера; 4—зольник; 5—дверцы топки; 6—дверцы зольника; 7 —пламенное окно

Рисунок 17. Выносная топка полного сгорания:

Выносная топка полного сгорания (рисунок 17) представляет собой кирпичную камеру 1, футерованную внутри шамотным кирпичом и разделенную горизонтальной колосниковой решеткой 2 на две части—топочную камеру 3 и зольник 4. Во фронтальной стенке топки имеются дверцы топочной камеры 5 для загрузки топлива и дверцы 6, для чистки колосниковой решетки и выгрузки золы из зольника. Продукты горения—газы поступают в шахту печи через окна 7.

Для обеспечения нормального процесса горения топлива большое значение имеет толщина слоя топлива на колосниковой решетке, зависящая от сорта, крупности кусков и влажности топлива. Чем крупнее куски топлива и чем выше его влажность, тем толще может быть слой топлива. Чем мельче и суше топливо, тем тоньше

должен быть слой его на колосниковой решетке

Недостатки этих печей:

- потери тепла из-за высокой температуры извести, выходящей из зоны охлаждения, а следовательно, и повышенный расход топлива на обжиг, не говоря уже о том, что при выгрузке горячей извести ухудшаются условия труда;
- потери тепла от остывания наружных стен самих выносных топок, в результате чего в печах с выносными топками полного сгорания всегда расходуется больше топлива, чем в печах других конструкций;
- невысокая температура газов в зоне обжига, а вследствие этого их малая производительность печей.

На шахтных печах установлена двухступенчатая очистка: первая ступень-шесть циклонов типа ЦН-15 диаметром 900 мм, вторая ступень-два циклона типа СКЦН-34 диаметром 2000 мм.

Аспирация пыли на шахтных печах осуществляется двумя аспирационными установками АУ-20 и АУ-21. Очистка пыли двухступенчатая: первая-циклон типа СИОТ №7, вторая-2 циклона типа СКЦН-34Б-1200 либо из 4-х секций рукавных фильтров.

### ***Тканевый (рукавный) фильтр.***

Главным элементом такого фильтра является рукав, изготовленный из фильтровальной ткани. Корпус фильтра разделен на несколько герметизированных камер, в каждой из которых размещено по несколько рукавов. Загрязненный газ подводится в нижнюю часть камеры и поступает внутрь рукавов. Фильтруясь через ткань, газ проходит в камеру и через открытый выпускной клапан выходит из нее, поступая в газопровод чистого газа. Частицы пыли оседают на внутренней поверхности рукава, в результате чего сопротивление рукава постепенно увеличивается. Когда оно достигнет некоторого предельного значения, фильтр переводится в режим регенерации.

### **Контрольные вопросы:**

- 1 Назовите два вида печей
- 2 Принцип работы шахтных пересыпных печей
- 3 Недостатки шахтных пересыпных печей
- 4 Достоинства шахтных пересыпных печей
- 5 Принцип работы газовых печей
- 6 Недостатки газовых печей
- 7 Достоинства газовых печей



- 8 Природоохранные мероприятия  
9 В чем смысл тканевого фильтра

### Список литературы:

- 1 Защита окружающей среды в коксохимической промышленности, сборник статей под ред. Соколова В.З. М.: Металлургия, 1983. - 72 с.
- 2 Юдашкин М.Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии. М.: Металлургия, 1984. - 320 с.
- 3 В.Д., Васильченко Н.М. Наладка и эксплуатация газоочистного оборудования в черной металлургии. М.: Металлургия, 1983. - 144 с.

## Лекция №5. Аппараты и установки для очистки газов цеха углеподготовки в коксохимическом производстве

### 1. Очистка газов цеха углеподготовки

В цехе углеподготовки осуществляют такие операции, как прием и хранение угля, обогащение, шихтовка (дозирование и смешивание), окончательное измельчение; до заданной крупности, транспортировка и хранение шихты. В этом цехе в процессе подготовки угля образуется угольная пыль, количество которой зависит от влажности и степени измельчения угля.

Значительное количество вредных газов и пыли образуется при сушке шихты. Уголь в сушильных барабанах сушат продуктами сгорания топлива, разбавленными воздухом. Температура дымовых газов при входе в сушильный барабан составляет 800°C, при входе в дымовую трубу 60—70°C. Ниже приведены величины вредных выбросов из агрегатов сушильного отделения при сушке флотоконцентратов:

Выбросы.....	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	
Удельный	объем		газов	после
сушильных	барабанов,		м <sup>3</sup> /т	су
хого концентрата.....	2700			
Концентрация вредных веществ в газах после сушильных барабанов, г/м <sup>3</sup> :				
максимальная .....	0,25	0,55	0,07	
минимальная .....	0,08	0,017	0,00	

средняя.....	0,10	0,07	0,02
Средние удельные выбросы, г/т			
сухого концентрата	270	190	55.

Угли, измельченные до 3 мм, целесообразно сушить в кипящем слое топочными газами с температурой до 900° С. Удельный расход тепла при этом составляет примерно 3500 кДж/кг испаренной влаги. Температура сухой шихты около 100° С.

Рекомендуется шихту в печь загружать пневмотранспортом (по трубам с помощью пара или инертного газа). Отсос пылегазовых выбросов необходимо осуществлять дымососами, размещенными на углезагрузочных вагонах через кольцевые зазоры газораспределительных устройств с подачей их в орошаемые водой абсорберы. Для очистки выбросов от СО и органических примесей их дожигают с помощью горелочного устройства. Обеспыленные газы можно также направлять в газосборники. В табл. 3 приведены состав и количество выбросов, которые могут наблюдаться при термической подготовке шихты без использования газоочистки. Глубокая сушка шихты до влажности 1—2% обеспечивает также сокращение выхода надсмольных вод на 0,08 м<sup>3</sup>/т кокса.

Таблица 3. Выбросы в атмосферу при загрузке коксовых печей термически подготовленной шихтой

Термоподготовка	Удельный объем газов, выбрасываемых в атмосферу, м <sup>3</sup> /т кокса	Средние удельные выбросы, г/т кокса			
		СО	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	пыль
Глубокая сушка до влажности 2 %	1300	130	380	26	60
Термоподготовка до 250 °С	2500	250	750	50	90

Источником загрязнения окружающей среды могут быть и углеобогащательные фабрики. Обогащение углей чаще осуществляется на месте их добычи и входит в комплекс угледобывающих предприятий. В ряде случаев эту операцию выполняют на коксохимических заводах.

Обогащение углей заключается в удалении части золы, количество которой до обогащения составляет от 18 до 14%, а также серы и влаги. Содержание серы в углях для коксования не должно

превышать 2%, влаги 7—9%. Сера в угле находится в виде пиритной  $FeS$ , сульфатной  $CaSO_4$  и связанной с органическими веществами угля связями типа  $K—8H$ . Пиритная сера при обогащении удаляется сравнительно легко, сульфатная и органическая переходят в кокс и коксовый газ в среднем на 30—50%. Степень обессеривания угля, например донецкого, составляет только 15—25%. В результате обогащения получают продукты с различным составом минеральных примесей: концентрат, промежуточный продукт (сростки угля с породой) и хвосты (пустая порода).

Обогащение крупного угля на обогатительных фабриках проводят или в отсадочных машинах, или в магнетитовой суспензии, мелкого — отсадкой, а шламов — флотацией. Такие вредные примеси, как фосфор, количество которого в угле составляет 0,01—0,16%, и незначительные количества ртути, обогащением не отделяются

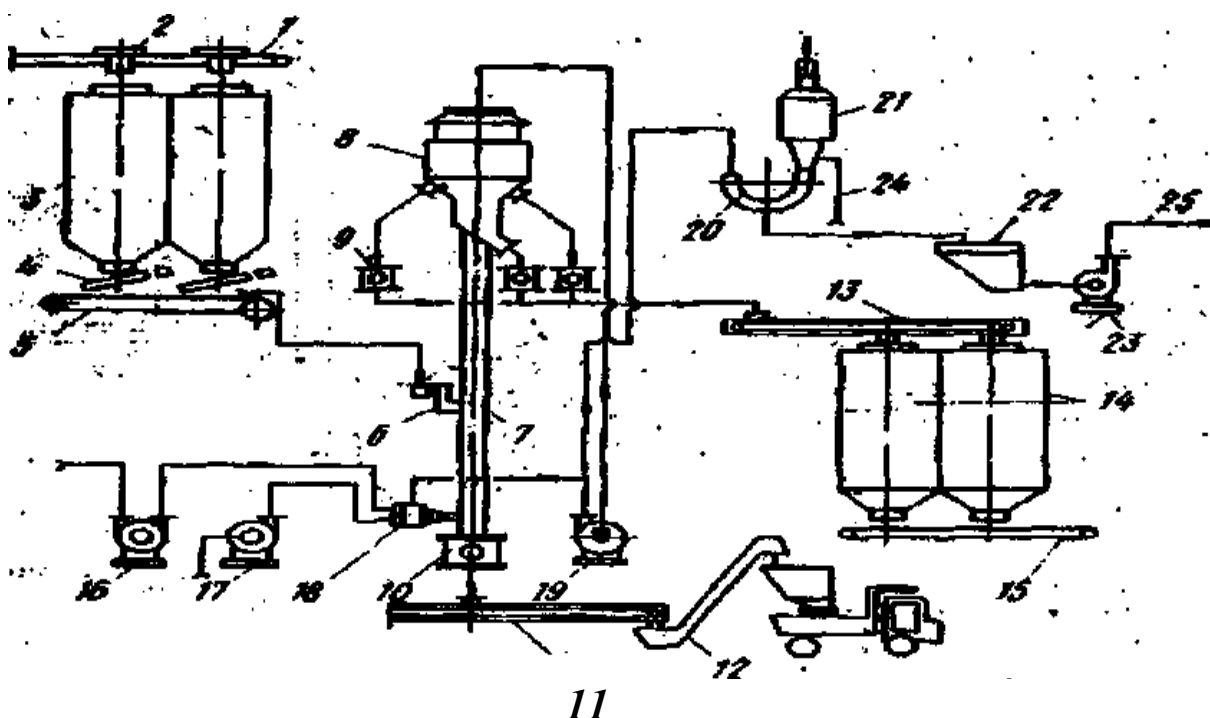


Рисунок 18. Схема обогащения угля

В доменном процессе при переводе сернистых соединений в шлак на каждые 0,1% серы затрачивается до 1,5% флюсов и кокса, что наряду с увеличением расхода сырья и топлива повышает загрязнение среды продуктами переработки этих материалов. Поэтому повышение степени удаления серы из углей для коксования является хотя и

трудной, но весьма важной задачей. Этого можно достигнуть применением усовершенствованных концентрационных столов типа СКГТУ, а также СКПМб. До 35% серы можно перевести из угля в шлам при обогащении угля в тяжелых средах (растворах неорганических солей, тонких взвешах минеральных суспензий и др.). Разделение в гидроциклонах-сепараторах проходит при этом за счет плотности жидкости, большей плотности угля и меньшей, чем порода. Частицы угля всплывают, порода тонет. Схема обогащения угля типовая. При термической подготовке шихту нагревают, до 150—250°С. Схема установки приведена на рисунке 18. Влажная шихта ленточным транспортером 1 и дозатором 2 подается в бункера-хранилища 3, откуда дозаторами 4 по ленточному конвейеру 5 поступает на цепной забрасыватель 6, с помощью которого шихта загружается в вертикальный сушильный агрегат - трубу 7. Сыпучий продукт подхватывается потоком восходящих газов, поступающих из топки 18, и выносится в зону отделения 8. Здесь шихта отделяется от газа-теплоносителя и выгружается через питатели 9 на скребковые конвейеры 13, которые распределяют шихту по бункерам 14. В бункера подают также азот от кислородной станции для предотвращения самовозгорания угля. Отработанный теплоноситель из отделителя вентилятором рециркуляции 19 отсасывается и подается в топку для явления горячих газов и снижения их температуры до 800—900° С. Теплоноситель получают путем сжигания коксового газа. Отработанный теплоноситель подают на двухступенчатую газоочистку, где он орошается водой в абсорберах 20 и 21. Затем обеспыленные газы через дымовую трубу поступают в атмосферу.

Для уменьшения каплеуноса скорость газов в последнем абсорбере необходимо; поддерживать на уровне 1-1,5 м/с или устанавливать каплеотделитель для дополнительной очистки газов от пыли. Шламовая вода и абсорберов стекает в сборник 22 и насосом 23 подается на разделение 25. Осветленную воду возвращают в цикл на орошение газов. Угольный шлам фильтрации и сушки используют в производстве.

Для очистки газов от пыли и химических примесей необходимо применять электрические и тканевые фильтры мокрое пылепоглощение и щелочно-абсорбционные методы очистки газов от SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, каталитические методы дожигания СО и органических примесей.

### **Контрольные вопросы:**

- 1 Процесс очистки газов
- 2 В чем заключается обогащение углей

### **Список литературы:**

- 1 Тонкопий М.С. Экология и экономика природопользования: Учебник - Алматы: Экономика, 2003 – 265с.
- 2 Денисов С.И. Улавливание и утилизация пыли и газов. – К.: Вища школа, 1992. – 333с.
- 3 Старк С.Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. – М.: Металлургия, 1972. – 406с.

## **Лекция №6. Аппараты и установки для очистки газов в коксохимическом производстве**

### **1. Очистка газов коксового цеха**

Основное количество пылегазовых выбросов в коксохимическом производстве образуется коксовыми печами. При загрузке холодной шихты в нагретую до высокой температуры печь интенсивно выделяются влага, угольная пыль и газообразные продукты. По мере повышения температуры из угля выделяются пирогенетическая влага и летучие вещества. При завершении коксования образуется примерно 73—75% твердого остатка (кокса) и до 25% летучих веществ, в том числе сернистые и азотистые соединения, непредельные и ароматические углеводороды, аммиак, цианистый водород и другие химические вещества.

Количество серы, содержащейся в идущих на коксование углях, колеблется от 0,5 до 4%.

Содержание серы в коксе в определенной мере влияет на загрязнение окружающей среды, так как при выплавке чугуна часть ее переходит из кокса в доменный газ, используемый в качестве энергетического топлива. Поэтому обогащение углей в значительной степени способствует снижению сернистости шихты, а ограничение содержания серы в коксе имеет не только технологическое значение, но и способствует уменьшению загрязнения окружающей среды. В настоящее время установлены ограничения по содержанию серы в коксе: для донецких углей 1,7—2, кузнецких 0,5, карагандинских 0,8%.

При коксовании азотсодержащие соединения из угля переходят в газ и образуют ряд химических продуктов: аммиак, синильную кислоту,  $\text{MO}_x$ , пиридин, хинолин и другие соединения, которые также загрязняют окружающую среду.

К вредным химическим примесям коксохимического производства, обладающим канцерогенными свойствами, относятся ароматические полициклические углеводороды типа бензпирена (БП), бензантрацена, дибензантрацена и др. Например, в каменноугольной смоле содержится канцерогенных углеводородов от 0,16 до 1%, а в пековых дистиллятах от 0,14 до 0,84 и достигает иногда 2,2%. Приведенные в литературных источниках данные о содержании канцерогенных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в продуктах пиролиза углей изменяются в зависимости от технологических и других факторов.

Бензапирен хорошо адсорбируется на поверхности твердых частиц золы, сажи, графита, на пылинках соединений кальция и кремния, с которыми из воздуха попадает в водные бассейны и почву. Для сокращения количества канцерогенных углеводородов в первую очередь необходимо обеспечить режим полного сгорания топлива, организовать эффективный локальный отсос газов как организованных, так и неорганизованных (особенно выбросов коксовых и пекококсовых печей) с последующей их химической очисткой. При абсорбционных процессах очистки газов канцерогенные вещества практически не обезвреживаются, а лишь переводятся из газовой в жидкую фазу. При этом следует также учесть, что БП обладает высокой химической, биологической и термической устойчивостью, из-за чего его обезвреживание затруднено. Тем не менее, при воздействии ультрафиолетовых лучей БП подвергается окислительной фотодеградациии в атмосферном воздухе, т. е. происходит самоочищение атмосферы.

Выбросы химических примесей дымовых газов отопительных систем коксовых батарей приведены в таблице 4.

Таблица 4. Выбросы химических примесей дымовых газов отопительной системы коксовых батарей

Топливо	Объем дымовых газов, $\text{м}^3/\text{т}$ кокса	Выбросы, г/т кокса		
		CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Коксовый газ	1400	420—2240	840—2940	280-560
Доменный газ	1750	875—5250	1 350—875	175—«75

Таким образом, защита окружающей среды при производстве кокса является весьма сложной задачей как в техническом, так и в технологическом отношении. Данные о количественно-качественном составе вредных пылегазовых выбросов при загрузке угольной шихты и выдаче кокса приведены в табл.3. Для сокращения вредных выбросов можно рекомендовать, например, строительство коксовых батарей большой единичной мощности объемом камер 50 м<sup>3</sup> и более, с бездымной загрузкой шихты, беспылевой выдачей и сухим тушением кокса.

Таблица 5. Удельные выбросы вредных веществ в период загрузки коксовых печей углем и при выдаче кокса

Точки выбросов	Объем выбросов м <sup>3</sup> /т кокса	Удельные выбросы, г/т кокса							
		H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	HCN	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	угле- водо- роды	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
печи Стояки коксовой	15	0,2	5,2	0,075	0,09	19	2,5	3,7	7,2
Загрузочные люки	4,7	0,61	1,6	0,24	0,03	6	0,8	1,3	2,3
Бункера угля загрузочных вагонов	165	21,5	57	0,85	0,99	214	28	41	79
Тушильный вагон в период выдачи кокса	190	7,6	51		0,5	36	32		3,4
<b>Всего</b>	<b>375</b>	<b>30</b>	<b>115</b>	<b>1,16</b>	<b>1,6</b>	<b>275</b>	<b>63</b>	<b>46</b>	<b>92</b>

Пылегазовые выделения можно также уменьшить, закрыв тракты транспортирования угля и кокса кожухами, загерметизировав пылящее оборудование или организовав локальные отсосы пыли и ее очистку сухими или мокрыми методами. Уменьшить загрязнение воздуха пылью на рабочих местах, площадках и в производственных помещениях коксовых цехов можно своевременной уборкой. В настоящее время разработаны пневматический и роторный механизмы для уборки площадок коксовой батареи. Верх печи, пути коксовоза и помещения под коксосортировкой можно убирать с помощью самоходной пневмомашин. Другие помещения целесообразно убирать гидросмывом, при этом необходимо иметь отдельные лотки и шламопроводы для удаления водных суспензий с мелким шламом и крупными частицами во избежание забивания канализационной сети.

Отстойники и хранилища нужно очищать от осадков механизированным способом с применением гидравлической размывки отложений.

Зачистка отложений на дверях и рамах коксовых печей обеспечивает снижение выделений газа и пыли в процессе коксования. Основным источником пылегазовых выбросов является загрузка коксовых печей угольной шихтой. Бездымная загрузка шихты с отсосом пылегазовых выбросов, например, паровой инжекцией (давление пара в форсунках 0,7—0,8 МПа и более) в газосборники резко сокращает загрязнение воздуха коксовыми батареями. Применением гидроинжекции (распылением в стояках фенольной воды под давлением 3—4 МПа) наряду с уменьшением выбросов в атмосферу можно снизить объем сточных фенольных вод. Гидроинжекция улучшает очистку газосборников от отложений, снижает температуру газов, но требует дополнительных агрегатов для оттаивания и осветления оборотной воды. При отсосе пылегазовых выбросов в газосборники смола загрязняется шламом, что требует дополнительных мер для их удаления из сборников смолы. Рекомендуется отстойники смолы оснащать механическими устройствами для уборки фусов и перерабатывать их с целью обеспечения безотходного использования.

Более перспективной может быть система отдельного отвода и очистки пылегазовых выбросов от коксовых печей. Она осуществляется посредством компактных устройств,

На рисунке 19 приведена схема бездымной загрузки угольной шихты с отсосом газов в газосборники. В коксовую камеру 1 при закрытых дверях 2 через загрузочные люки 3 из бункеров 4 углезагрузочного вагона 5 поочередно загружают угольную шихту. Пылегазовые выбросы отсасывают через стояки 6 паровым инжектированием (или гидроинжекцией) через сопла 7 в газосборник 8. Шихта в коксовой камере разравнивается планировочной штангой 9, оснащенной уплотняющим устройством 10. На коксовыталкивателе 11 установлена штанга 12 для выдачи кокса из печи через нжсонаправляющую 14 двересъемной машины 13 в тушильный вагон. 15. Охлажденный кокс выгружают на коксовую рампу 16 и конвейером подают на коксосортировку. Кроме передвижных газоочистных устройств, можно применять газопровод-коллектор, устанавливаемый



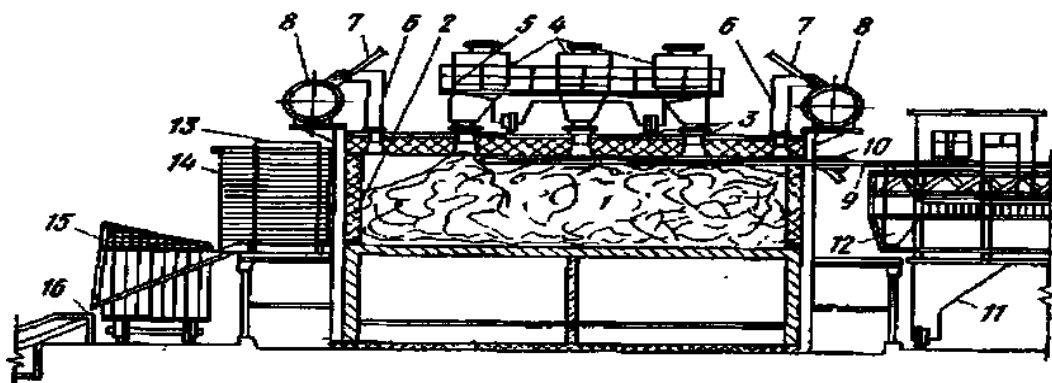


Рисунок 19. Бездымная загрузка угольной шихты с отсосом газа в газосборнике

рядом с газосборником. В отдельных случаях к газосборникам можно подсоединять штуцеры-отводы для индивидуальной системы отсоса газов в газосборники, минуя стояки. Однако излишнее усложнение системы соединения газопроводов затрудняет доступ к ним, механизацию и автоматизацию процесса.

Можно применять также и другие методы и аппараты по отводу и очистке газов. Например, бездымная загрузка угольной шихты на одном из коксохимических заводов Японии совмещена с инжектированием газов в газосборник с помощью аммиачной воды. На многих коксохимических заводах ФРГ применяют бездымную загрузку с помощью углезагрузочных вагонов с отсасыванием и очисткой пылегазовых выбросов трубами Вентури или центробежными промывателями с дожиганием газов на свече или в специальных печах перед выбросом их в атмосферу.

При применении для коксования термоподготовленной угольной шихты сокращаются время коксования и количество вредных выделений в атмосферу. Поэтому система загрузки печей угольной шихтой при 150—250 °С, содержащей не более 2% влаги, является более перспективной. Сухая шихта хорошо растекается по печи и не требует планирования, образует меньше пылегазовых выделений. Загружать печь можно с помощью специального углезагрузочного вагона через средний люк и одновременно отсасывать газы через оба крайних люка с последующей подачей газа на индивидуальную систему очистки и дожигания горючих компонентов. Локальная аспирационно-очистительная система состоит из двухступенчатой сухой и мокрой газоочистки от пыли, вентилятора и устройства, дожигающего СО и другие органические вещества.

Система загрузки угольной шихты, отсоса и очистки газов (рисунок 20) работает следующим образом. Из бункера 2 углезагрузочного вагона / уголь стекает через центральный люк 3 в печь 4. Пиролизные и дымовые газы вместе с пылью через боковые люки 5 отсасываются дымососом 6 и очищаются в сухом -7 и мокром 8 пылеуловителях. В печи-смесителе 9 дожигаются органические примеси подогревом газов до температуры не ниже  $700^{\circ}\text{C}$  путем сжигания коксового газа в горелке 10. Дымовые газы через трубу 11 выбрасывают в атмосферу. Сухие пылеуловители (циклоны) соединены общим газоходом 12. В дымосос 6 для коагуляции пыли подают воду из бака 13 насосом 14 в форсунки 15. Шламовую воду собирают в гидрозатворах 16 и периодически отправляют на переработку по трубопроводам. По окончании загрузки шихты отключают локальную систему отсоса, а газы через стояки 17 направляют в газосборники 18. Система несколько сложна в эксплуатации.

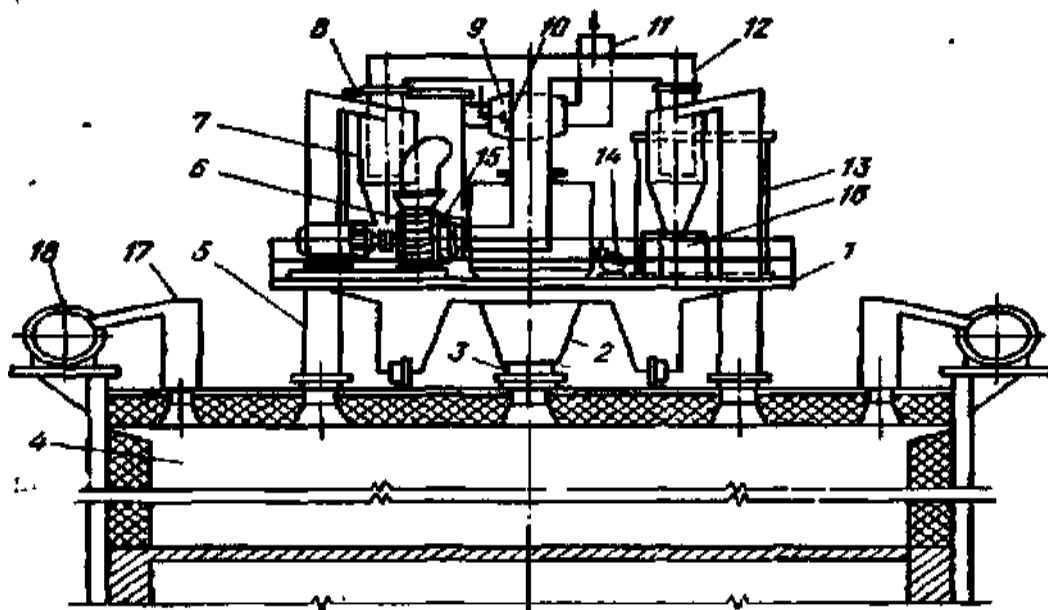


Рисунок 20. Локальное аспирационное устройство для очистки от газов пыли и дожигания горючих компонентов при загрузке шихты

Не менее важны для защиты среды от загрязнения разработка и промышленное применение системы беспылевой выдачи кокса из коксовых печей, например, с помощью стационарных укрытий коксонаправляющей и тушильного вагона. Известна система с применением передвижных вытяжных зонтов (колпаков) и общего газохода-коллектора для отсоса газов, смонтированного вдоль

коксовой батареи. Отсос и очистка газов осуществляются стационарной установкой мокрого типа.

Можно применять также системы беспылевой выдачи кокса с мокрым или сухим тушением его на передвижных устройствах, находящихся рядом с тушильным вагоном и перемещающихся вместе. За рубежом делали попытки полного укрытия коксовой стороны батареи. При этом длинная галерея оснащена мощными дымососами и газоочистками мокрого типа.

Большие количества вредных выбросов образуются при мокром тушении кокса фенольной водой. Количество канцерогенных веществ в воде составляет примерно 0,1% от наличия в воде смолистых соединений. Основная часть летучих соединений не сгорает, а с парами воды поступает в атмосферу, причем в течение 1,5—2,5 мин упаривается 0,4—0,5 м<sup>3</sup> воды на 1 т кокса. Поэтому для тушения кокса рекомендуется применять техническую или оборотную воду, очищенную от фенолов, цианидов и других веществ. Состав вредных выделений при тушении кокса приведен в таблице 5.

После кратковременного отстаивания кокс выдают на рампу, где он находится 10—20 мин. При этом вода с кокса и с рампы стекает в дренажный колодец, который периодически очищают от шлама. Затем кокс перегружают на транспортер и через перегрузочную станцию на валковый грохот коксосортировки.

При сухом тушении кокса на установках сухого тушения (УСТК) системы кокса вредные пылегазовые выбросы минимальны благодаря герметичности системы. Для получения пара используют тепло раскаленного кокса, которое можно также использовать для конверсии коксового газа с получением восстановительного газа. В этом случае CO<sub>2</sub>, C>2 и CH<sub>4</sub> можно превратить в CO и H<sub>2</sub>.

Процесс сухого, тушения кокса (рисунок 21) проводят по следующей схеме. Раскаленный кокс при 950—1050 °С в специальном тушильном вагоне со съёмным кузовом и направляющими стойками 2 подают в шахту подъемника УСТК. Из вагона через загрузочное устройство 3 кокс выгружают в форкамеру 4, из которой он поступает в камеру тушения 5. Камера оснащена периферийными дутьевыми решетками 6, а форкамера, служащая для накопления горячего кокса, имеет кольцевой отвод 7 для циркулирующих инертных газов (продуктов сгорания кокса или коксового газа). Горячий инертный газ из камеры тушения

отсасывают в пылеосадительную камеру 8 с перегородкой 9, в которой оседает крупная фракция пыли. Система утилизации тепла

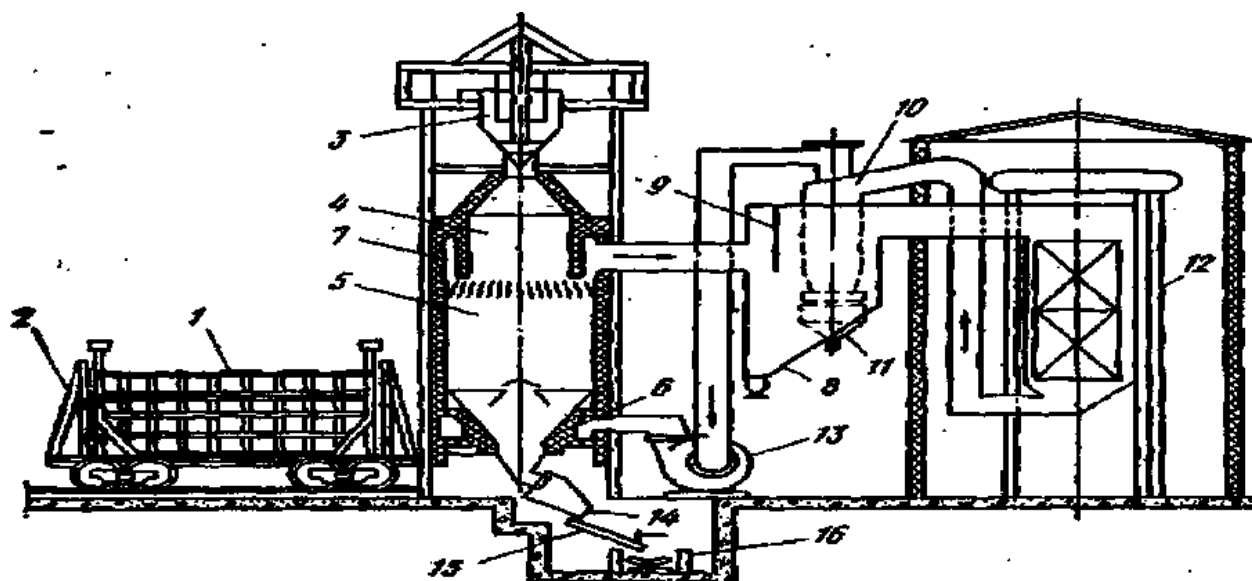


Рисунок 21. Процесс сухого, тушения кокса

состоит из водотрубного котла-утилизатора 12 с водонагревателем и пароперегревателем. В котле-утилизаторе газы охлаждаются до 150—200 °С, а в циклоне 10 очищаются от мелкой пыли. Уловленную пыль через герметичный бункер 11 выгружают в контейнеры и отправляют на брикетирование. Охлажденный и обеспыленный газ газодувкой 13 подают в камеру тушения кокса. Кокс при 200—250° С через двойной затвор и разгрузочное устройство 14 выгружается автоматически на коксовую рампу 75 и по ленточному конвейеру 16 отправляется на коксосортировку.

Несмотря на герметичность УСТК, в нее попадает некоторое количество воздуха, что приводит к сгоранию части кокса и дополнительному образованию теплоносителя. Избыточное количество газов периодически сбрасывают в атмосферу. В этих газах обычно содержится около 20 % СО и более, поэтому их обезвреживают сжиганием на свече, оснащенной автоматическим зажигающим устройством, заблокированным с механизмом сброса избытка газов на УСТК. Производительность УСТК до 1200-т кокса в сутки. Конечная температура кокса перед выдачей на рампу не должна превышать 250° С во избежание самовозгорания. Коксовая рампа должна быть механизирована и работать в непрерывном

режиме приема и выгрузки кокса на конвейеры, подающие кокс (рисунок 21). Установка сухого сушения кокса на коксортировку.

Применение сухого тушения кокса позволяет не только резко сократить пыле-газовые выбросы, но и уменьшить тепловые выбросы в атмосферу. При сухом тушении 6 т кокса с использованием тепла можно сэкономить тепло, эквивалентное более 200 т угля, и получить пар давлением 2,2 МПа с температурой перегрева 450° С. Затраты производства такого пара в два раза ниже, чем на ТЭЦ. На 1 т кокса можно получить 0,5 т пара выше приведенных параметров.

Завершающей стадией производства кокса является его разделение на классы. При этом вместе с парами воды может выделяться определенная часть пылевидных частиц кокса. Для предотвращения этого на всем пути транспортирования кокса, особенно в местах перевалок, создают специальные укрытия. Конвейеры оснащают виброжелобами для отделения пыли, грохоты укрывают кожухами и оснащают локальными вытяжными устройствами с очисткой выбрасываемого воздуха от пыли. При хорошем техническом состоянии транспортного хозяйства и герметичности систем, удовлетворительной работе вентиляционных установок и циклонов-пылеуловителей унос пыли в атмосферу незначителен. Другие вредные примеси в атмосферу на кокс сортировках и при транспортировании кокса, как правило, не выделяются. Так же загрязнение окружающей среды предотвращается при производстве литейного кокса.

Особое место как источник загрязнения окружающей среды в коксохимии занимает пекококсовое производство. Пылегазовые выбросы пекококсового производства обладают высокой токсичностью. Подготовка пековой смолы к коксованию и производство пекового кокса являются основными источниками выбросов веществ с канцерогенными свойствами. Уменьшить эти выбросы можно герметизацией аппаратов и газопроводов, устройством локальных систем отсоса газовых выбросов и их очисткой от химических примесей, разработкой непрерывных процессов окисления и коксования пековой смолы и др. В существующих камерных пекококсовых печах целесообразно внедрить системы отсоса и очистки выбросов, загрузки смолы и выдачи кокса, аналогичные системам, разрабатываемым и применяемым на коксовых печах. Обезвредить выбросы можно, установив системы термokatалитического дожигания с использованием тепла. Выбросы пекококсовых печей необходимо

также направлять в газопровод прямого коксового газа. Выбросы из воздушников хранилищ, сборников и других емкостей, содержащих жидкие продукты и выделяющие в атмосферу летучие углеводороды, необходимо направлять в общий газопровод с поглощением их, например, поглотительным маслом или обезвреживать термокаталитическим дожиганием, а также направлять в топки котлов.

В настоящее время отсутствует достаточно полная и точная характеристика пылегазовых выбросов коксохимического производства, а имеющиеся сведения требуют уточнения и дополнения. Это обусловлено наличием большого числа мелких источников выбросов, в том числе неорганизованных, необходимостью определения состава сложных смесей газов, периодичностью и непостоянством концентрации примесей выбросов и др.

### **Контрольные вопросы:**

- 1 Как влияет содержание серы в коксе на окружающую среду
- 2 стадии производства кокса

### **Список литературы:**

- 1 Елисеев А.К. и др. Охрана окружающей среды в агломерационном производстве. – М.: Металлургия, 1994. – 176с.
- 2 Максименко Ю.Л. и др. Оценка воздействия на окружающую среду и разработка нормативов ПДВ. Справочник. – М.: СП Интермет Инжиниринг, 1999. - 480с.
- 3 Андоньев С.М. и др. Пылегазовые выбросы на предприятиях черной металлургии. – Харьков, 1998. – 346с.

## **Лекция №7. Вредные выбросы доменного производства**

### **1. Характеристика колошниковых газов**

Колошниковый или доменный газ представляет конечный газообразный продукт физико-химических процессов, протекающих в доменной печи, упрощенная схема образования которого может быть представлена следующим образом. При контакте горячего дутья с

раскаленным коксом окислители, содержащиеся в дутье — кислород и водяные пары, интенсивно реагируют с углеродом кокса и топливных добавок. За счет избытка кокса в сложившихся температурных условиях горна продуктом этих процессов являются оксид углерода, азот и водород. При работе с дутьем, обогащенным кислородом, состав первичного газа зависит от концентрации кислорода. Так, при увеличении концентрации кислорода от 21 до 30 % и использовании природного газа содержание оксида углерода в горновом газе возрастает от 36 до 40 %, а содержание азота падает от 64 до 50 %. Причем состав первичного газа зависит от соотношения расходов кислорода и природного газа. В результате последующих реакций косвенного и прямого восстановления первичный газ существенно изменяется за счет обогащения оксидом углерода, углекислотой и водяными парами. Конечный состав и температура колошникового газа изменяются в широких пределах в зависимости от конкретных технологических условий.

Выходящий из слоя шихтовых материалов колошниковый газ захватывает из поверхностных слоев мелкие, преимущественно меньше 1 мм, частицы кокса и железосодержащих материалов. Содержание мелких частиц - пыли в колошниковом газе на выходе из печи достигает 15-30 г/м<sup>3</sup>, а иногда и более.

Удельный выход колошникового газа, т.е. объема газа на 1 т чугуна, зависит от многих факторов и прежде всего от расхода кокса и содержания кислорода в дутье. Уменьшение расхода кокса на выплавку чугуна сопровождается пропорциональным уменьшением удельного выхода колошникового газа в связи с тем, что выход газа на 1 т кокса при прочих равных условиях остается практически неизменным и составляет около 3750 м<sup>3</sup>. Аналогичным образом влияет и увеличение концентрации кислорода в дутье. Так, по данным Е.А. Ницкевича, повышение содержания кислорода в дутье на 1 % приводит к уменьшению удельного выхода газа на 3 %. Влияние природного газа или других топливных добавок на выход колошникового газа также прежде всего проявляется через изменение расхода кокса. Чем выше коэффициент замены кокса добавками, тем сильнее сокращается выход колошникового газа.

Химический состав и теплота сгорания колошникового газа зависят от тех же факторов, что и его выход. Повышение качества подготовки железосодержащих материалов, увеличение доли агломерата и окатышей, рост температуры дутья и увеличение

расхода природного газа приводят к развитию косвенного восстановления и способствуют резкому снижению теплотворной способности колошникового газа. В современных доменных печах, работающих с расходом кокса 420—500 кг/т чугуна, теплотворная способность не превышает 3000—3400 кДж/м<sup>3</sup>.

Измельчение шихтовых материалов происходит при приготовлении, транспортировке и загрузке их в печь. Термические процессы и механическое истирание материалов в печи приводят к образованию новых количеств мелких частиц. Следует отметить, что неровный ход усиливает разрушение шихтовых материалов.

Захват частиц материалов потоком газа при его выходе из слоя происходит, когда подъемная сила, действующая на площадь поперечного сечения частицы, будет больше ее массовых сил. Подъемная сила в основном определяется скоростью газа при обтекании частицы и ее формой. Гранулометрический состав пыли зависит от многих факторов и может сильно меняться в зависимости от условий работы печи

Основные параметры доменного газа. Состав и основные характеристики доменного газа зависят от состава шихты и хода плавки и могут в значительной степени изменяться.

Для интенсификации доменного процесса и сокращения расхода кокса существует много различных мероприятий, влияющих и на свойства доменного газа: повышение давления, температуры и влажности доменного дутья, обогащение дутья кислородом, вдувание в горн природного газа, мазута и т. п. в результате совокупного действия этих факторов, оказывающих в некоторых случаях противоположное влияние, в составе доменного газа повышается содержание водорода с одновременным уменьшением СО, вследствие чего теплота сгорания его изменяется мало и составляет около 3500—4000 кДж/м<sup>3</sup>, а выход доменного газа снижается с 3800-4000 до 2000-2500 м<sup>3</sup>/т чугуна.

Примерный состав доменного газа приведен ниже:

Компоненты.....	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>
При работе без повышения давления и комбинированного дутья, %.....	11,2	31,2	0,21	2,99	55,1
При работе с повышением давления и комбинированным дутьем, %.....	11,3	29,0	0,20	4,30	55,2



Температура газа, поступающего на газоочистку при работе печей на повышенном давлении, составляет 200–300°С. Наблюдаются кратковременные повышения температуры до 500°С. При выплавке спецчугунов (литейного, ферросилиция, ферромарганца) температура газа выше, чем при выплавке передельного чугуна, и составляет 300 – 400°С.

Колошниковая пыль, ее вынос и свойства. Доменный газ, образующийся в печи, всегда загрязнен колошниковой пылью, которая представляет собой смесь мелких частиц руды, кокса, агломерата, известняка и других материалов, загружаемых в доменную печь. Пыль образуется в результате механического измельчения материалов при их приготовлении, транспортировании, загрузке и истирании при движении в шахте печи.

Вынос пыли из печи обусловлен увеличением мелких частиц потоком газа, проходящим сквозь слой шихты, а также возгонкой некоторых элементов шихты в область высоких температур и подмешиванием их к газу.

При работе печей с нормальным давлением на колошнике вынос пыли составлял 50 – 60 г/м<sup>3</sup>, повышаясь в отдельных случаях до 100 г/м<sup>3</sup>. при переводе печей на работу с повышенным давлением на колошнике запыленность доменного газа уменьшается до 15 -20 г/м<sup>3</sup>, что в значительной мере объясняется снижением удельных объемов и скоростей газов в печи.

Удельный выход пыли на 1 т чугуна составляет при нормальном давлении на колошнике 50 – 150, при повышенном давлении 25 – 75 кг/т.

При выплавке передельного чугуна и работе с повышенным давлением на колошнике пыль имеет следующий химический состав, %: 6,02FeO; 12,9Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 13,8Fe<sub>общ</sub>; 14,6SiO<sub>2</sub>; 4,35Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4,35MgO; 11,85CaO; 0,74S; 3,75MnO. Потери при прокаливании составляют 27,68 %.

Гранулометрический состав пыли также зависит от многих факторов и может сильно колебаться. О примерном распределении частиц по размерам можно судить по следующим данным:

Размер частиц, мкм	200	200-100	100-60	60-20	20-10	10-1	<1
Массовое содержание, %	34,5	12,3	19,0	25,0	7,5	1,65	0,05

### **Контрольные вопросы:**

- 1 Характеристика колошниковых газов
- 2 От чего зависит химический состав и теплота сгорания колошникового газа
- 3 Основные параметры доменного газа
- 4 От чего зависит гранулометрический состав пыли

### **Список литературы:**

- 1 Цой А.Д. Проблемы охраны атмосферного воздуха на предприятиях металлургического комплекса. – М.: ЦНИцветметэкономики и информации, 1993. – 148с.
- 2 Хван Т.А. Промышленная экология /Серия «Учебники, учебные пособия». - Ростов-н/Д.: Феникс, 2003.

## **Лекция №8. Очистка вредных выбросов доменного производства**

### **1. Вредные выбросы доменного производства**

Доменные цеха загрязняют атмосферу в основном пылью и окисью углерода.

Рудный двор и бункерная эстакада. На рудном дворе пыль выделяется при разгрузке вагонов, перегрузке руды грейферными кранами, подачи руды на бункерную эстакаду. Удельный выброс пыли на 1 т чугуна ориентировочно принимают равным: на рудном дворе 50 кг, на бункерной эстакаде 22 кг при высоте выделений 6 -15 м. концентрация пыли на рудном дворе и бункерной эстакаде может достигать 1000 мг/м<sup>3</sup>. На новых металлургических заводах можно ожидать снижения удельных выбросов до 10 кг/т за счет разгрузки и транспортирования сыпучих материалов в закрытых разгрузочных узлах и закрытых галереях с объединением аспирационных систем и очисткой запыленных газов в крупных электрофильтрах.

Подбункерные помещения. В доменных цехах существует две системы подачи сырых материалов на колошник: скиповая и транспортерная – значительно снижающая пылевыведение.

Наибольшее количество пыли выделяется в подбункерном помещении, где происходит выгрузка сырых материалов в вагон – весы и далее в скип. Пыль выбрасывается в атмосферу через окна и

проемы для скипов и через выхлопные отверстия аспирационных систем при высоте выделений 10 м.

Концентрация пыли в воздухе подбункерных помещений составляет около  $500 \text{ мг/м}^3$ , в связи с чем на многих заводах кабину машиниста вагон – весов приходится герметизировать. При транспортной подаче сырых материалов условия работы в подбункерном помещении гораздо лучше.

Валовые выбросы в подбункерных помещениях, кг/т чугуна, для печей различных объемов  $V_{\text{п}}, \text{ м}^3$ , приведены ниже:

Скиповая подача ( $V_{\text{п}} < 2000$ ).....0,8 – 1,2

Транспортная подача ( $V_{\text{п}} > 2000$ ).....0,09

Дисперсный состав пыли в подбункерном помещении приведен ниже:

Размер частиц, мкм.....	<13	13 – 52	>52
Содержание, % (объемн.).....	86	13	1

Для очистки выбросов аспирационных систем применяют в большинстве случаев мокрые пылеуловители.

Колошниковое устройство. Пыле и газовыделение печи обусловлено тем, что при подаче шихты на большой конус загрузочного устройства печи давление по обе стороны конуса необходимо выравнивать, для чего грязный газ из межконусного пространства выпускают в атмосферу. Кроме того, пылевыведение происходит при каждой ссыпке скипа в приемную воронку. Для печей емкостью  $930 - 2700 \text{ м}^3$  выбросы пыли и СО составляют 0,17 – 0,60 и 5 – 19 т/сутки, соответственно.

В редких случаях газ отводят на газоочистку с последующим использованием в качестве топлива.

Радикальным решением, почти полностью исключаящим выбросы пыли из межконусного пространства, является подача в межконусное пространство в момент открытия большого конуса компримированного газа давлением, несколько превышающем давление в печи. В этом случае грязный газ из печи вообще не поступает в межконусное пространство и выхлоп газа при выравнивании давления в засыпном устройстве остается чистым. Однако при этом появляются дополнительные энергозатраты, связанные со сжатием газа, подаваемого в межконусное пространство.

Литейный двор. На литейном дворе пыль и газы выделяются в основном от леток чугуна и шлака, желобов участков слива и ковшей. Удельные выходы вредных веществ на 1 т чугуна составляют: 400 – 700 г пыли, 0,7 – 0,15 кг СО, 120 – 170 SO<sub>2</sub>. Пыль и газы удаляются частично через фонари здания, частично с помощью аспирационных систем с очисткой от пыли перед выбросом в атмосферу, преимущественно в батарейных циклонах.

При разливке чугуна в помещении разливочных машин выделяются пыль и окись углерода. Аспирация и очистка обычно не предусмотрены. Через аэрационные фонари выделяются в среднем 40 г пыли и 60 г СО на 1 т разлитого чугуна.

Все выбросы литейного двора крупных печей стремятся объединить и направлять их для очистки в электрофильтры. Общее количество отсасываемого газа у крупных печей достигает 1 млн. м<sup>3</sup>/ч. Чтобы его уменьшить все системы снабжают дроссельными клапанами (ДК), позволяющими по мере надобности включать дистанционно необходимое в данный момент укрытие (зонт).

Воздухонагреватели. Воздухонагреватели доменных печей загрязняют атмосферу преимущественно окисью углерода, в среднем 11 – 14 г/т чугуна. Концентрация окиси углерода, удаляемой через аэрационные проемы зданий, составляет в среднем 33 мг/м<sup>3</sup>.

Пылеуловители. При сухой разгрузке пылеуловителей в атмосферу выделяется 0,75 – 1,0 г пыли на 1 т чугуна. Средняя концентрация пыли при погрузке на открытые железнодорожные платформы составляет 250 мг/м<sup>3</sup> на расстоянии 5 м от пылеуловителя при отсутствии ветра. При смачивании пылевыведение значительно сокращается. В настоящее время разработана закрытая система пневматического транспортирования уловленной пыли.

### **Контрольные вопросы:**

- 1 Вред от доменного цеха
- 1 Колошниковое устройство
- 2 В чем смысл литейного двора
- 3 Как влияют воздухонагреватели на атмосферу

### **Список литературы:**

- 1 Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. Андоньев С.М., Зайцев Ю.С., Филиппов О.В. Харьков, 1998. - 320 с.

2 Защита окружающей среды в коксохимической промышленности, сборник статей под ред. Соколова В.З. М.: Металлургия, 1983. - 72 с.

3 Юдашкин М.Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии. М.: Металлургия, 1984. - 320 с.

## **Лекция №9. Очистка газов в доменном цехе**

### **1. Грубая газоочистка**

### **2. Полутонкая очистка**

### **3. Тонкая очистка**

Газ подвергают последовательно грубой, полутонкой и тонкой очистке.

Грубая газоочистка предусматривает отделение частиц размером больше 0,1 мм, используя в аппаратах грубой очистки инерционные и гравитационные свойства частиц пыли при резком уменьшении скорости и направления газового потока. Для грубой очистки преимущественно используются радиальные пылеуловители (рисунок 22). Колошниковый газ поступает в пылеуловитель через вертикальную трубу, установленную по оси камеры 1. Скорость газа в этой трубе составляет 15-20 м/с, а в камере пылеуловителя 2 резко уменьшается до 0,6-1,0 м/с. Помимо снижения скорости поток газа в камере резко меняет направление своего движения. При этом крупные частицы пыли под действием инерционных и массовых сил сохраняют прямолинейное движение в вертикальном направлении и осаждаются в нижней части пылеуловителя 3. Очищенный от крупных частиц газ выпускается через газопровод в верхней части камеры пылеуловителя 4. В нижней конусной части камеры расположено устройство для выпуска пыли 5. В связи с тяжелыми условиями работы пылеуловителя, поскольку через него движется газ с температурой 350-400 С и высокой эрозирующей способностью, внутренняя его поверхность футеруется огнеупорным кирпичом толщиной до 115 мм.

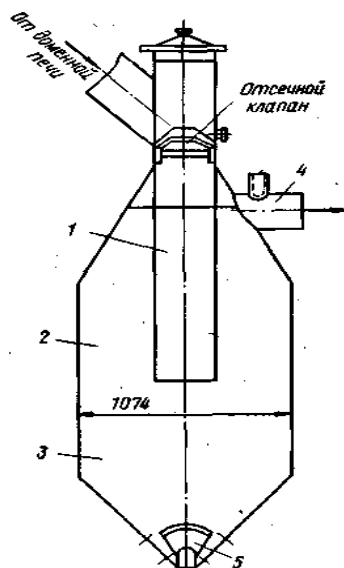


Рисунок 22. Радикальный пылеуловитель

Степень очистки газа в пылеуловителе достигает 90-95 %, а содержание пыли после аппарата составляет 1-3 г/м<sup>3</sup>. Качество очистки газа зависит как от характеристики пыли, так и от соотношения геометрических размеров аппарата. Чем больше отношение диаметров камеры и вертикальной трубы и больше высота аппарата, тем эффективнее его работа. Существенное влияние на степень очистки газа оказывает уровень пыли в нижнем конусе аппарата. При переполнении конуса возможен унос пыли за счет захвата ее потоком газа, поэтому большое значение имеет соблюдение графика выпуска пыли.

Для выгрузки пыли под нижним конусом установлен винтовой транспортер-конвейер, состоящий из транспортера, отсечного клапана, задвижки и системы увлажнения. Нормальное положение клапана - закрытое. Открывают его при помощи электрической лебедки. Пыль из конуса поступает на два шнека, представляющих винтовой конвейер из двух шнеков, которые, вращаясь навстречу друг другу, перемещают пыль к разгрузочному отверстию. При движении пыль увлажняется водой, поступающей через форсунку. В зимнее время перед пуском транспортера через форсунку подают пар для разогрева смерзающихся остатков транспортируемой пыли.

В последнее время для уборки пыли используют пылеспускную трубу, вдоль которой установлены форсунки для увлажнения транспортируемой пыли. Пыль выгружается в железорудные вагоны.

Для отсечения пылеуловителя от печи в вертикальной трубе, а иногда и пост пылеуловителя устанавливают отсекающий клапан (рисунок 23). Клапан конусного типа состоит из цилиндрического

корпуса 2, в нижней части которого размещено седло 1 с двумя контактными поверхностями для повышения надежности отсечения.

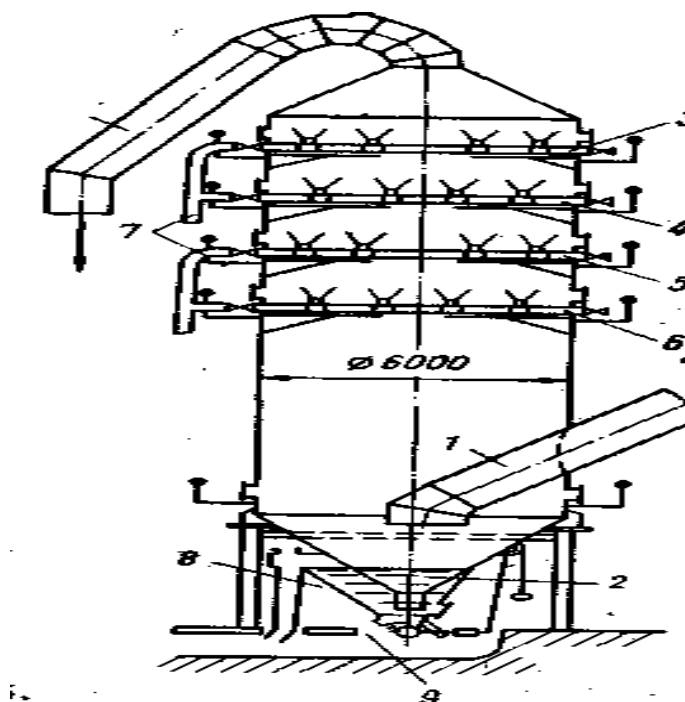


Рисунок 23. Отсекающий клапан

В полости конуса перемещаются два конуса-тарелки 3, установленные на штанге 4. Нижняя конус-тарелка шарнирно закреплена на штанге 4, а верхняя свободно насажена, что обеспечивает более плотный контакт рабочих поверхности тарелки и седла. Между седлами подают пар 5, давление которого превышает давление колошникового газа, что позволяет полностью исключить утечки газа через клапан. Кроме отсекающего клапана, пылеуловители оборудуются атмосферным клапаном тарельчатого типа для вентиляции во время ремонта.

### **Полутонкая очистка**

Полутонкая очистка доменного газа осуществляется до содержания  $-0,1—0,5 \text{ г/м}^3$ . Характерной особенностью аппаратов полутонкой очистки является смачивание частиц пыли водой и последующее их удаление в виде шлама. Эффективность мокрой очистки определяется способностью частиц смачиваться водой, степенью смешения газа с водой в процессе удаления пыли и развитием процессов укрупнения - коагуляции частиц пыли.

Скруббер (рисунок 24) Представляет собой металлический цилиндр диаметром 6-8 м и высотой до 30 м. Подвод грязного газа

осуществляется по центру аппарата с направлением потока 1 на зеркало воды 2, для осаждения крупных частиц. В верхней части скруббера размещается несколько рядов форсунок 3-6, обеспечивающих равномерно распределенный по поперечному сечению аппарата поток мелко распыленной воды 7. Загрязненная частицами пыли вода собирается в нижней конической части скруббера и через гидрозатвор 8 сбрасывается в сливной канал 9 и далее в отстойник. Очищенный и охлажденный до 30-50°C газ через патрубок 10 в верхней части корпуса отводится в следующий аппарат. Производительность современных скрубберов достигает 100-250 тыс. м<sup>3</sup> газа в час. Для повышения эффективности очистки в старых конструкциях внутреннее пространство скруббера заполнялось деревянной насадкой для создания развитой контактной поверхности газа и воды. Для выравнивания потока газа в поперечном сечении аппарата насадку устанавливали в несколько ярусов. В настоящее время при работе с повышенным давлением газа на колошнике все большее распространение получают безнасадочные скрубберы. При этом чаще применяют эвольвента о расположенные форсунки, т.е. максимально перекрывающие поперечное сечение аппарата, с диаметром 12-40 мм. Эти форсунки нетребовательны к качеству воды, поступающей на орошение.

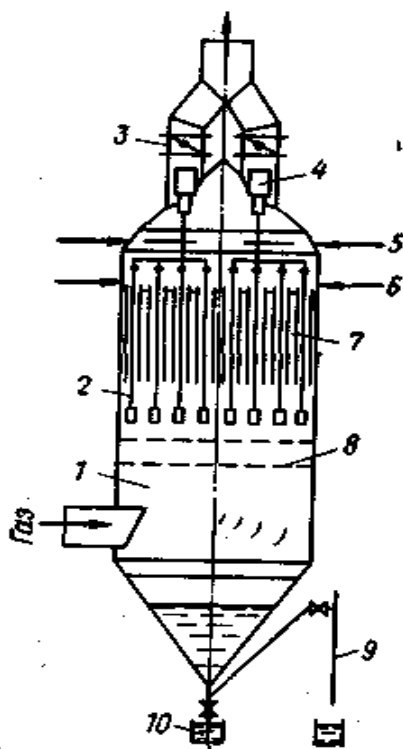


Рисунок 24. Скрубер



После скрубберов увлажненный до насыщения водой газ поступает, как правило, в низконапорные трубы Вентури. Низконапорная труба - распылитель представляет собой сопло сложной конфигурации, на входе которого расположены орошающие форсунки. В начальном сужающемся участке трубы поток газа разгоняется до 50-80 м/с, при этом вода дробится на мельчайшие капли, образуя туман. Это способствует разрушению газовых оболочек на частицах пыли размером 1-2 мкм и последующей их коагуляции. В расширяющейся части трубы скорость частиц сохраняется практически постоянной, что позволяет осуществлять хорошее отделение жидкости от газа в каплеотделителе, установленном на выходе трубы-распылителя. В качестве каплеотделителя используется скруббер с насадкой из керамических или металлических колец. Вода, загрязненная за счет действия сил инерции и смачивания, осаждается на насадку и смывается водой. Расход воды в скруббере-отделителе составляет 0,4-0,6 л/м<sup>3</sup> газа.

### **Тонкая Очистка**

Тонкую очистку газа при работе доменных печей с повышенным давлением газов осуществляют в трубах-распылителях, а также в дроссельных устройствах. Труба-распылитель показана на рисунке 25. Тонкая очистка обеспечивает снижение содержания пыли в колошниковом газе ниже 0,015 г/м<sup>3</sup>. Для тонкого отделения используют электрофилтры и трубы Вентури. Работа электрофилтров основана на свойстве перераспределения электрических зарядов с положительным и отрицательным знаком в нейтральных частицах под действием электрического поля и последующем осаждении заряженных частиц на электродах.

В любом нейтральном веществе имеются заряды обоих знаков и при том в равных количествах. При попадании в сильное электрическое поле газ ионизируется, то есть расщепляется на электроны и положительные ионы. Образующиеся электроны осаждаются на пылинках и заряжают их. При этом нарушается равномерное распределение зарядов и на частицах возникает избыток отрицательных зарядов. Заряженные частицы выпадают на осадительных электродах.

Для ионизации газа необходимо создать неоднородное электрическое поле и увеличить напряжение на электродах до 50-100 кВ, когда происходит лавинообразный процесс ударной ионизации

движущегося потока газа вблизи центрального электрода. Явление ударной ионизации называют коронированием. После создания короны дальнейшее увеличение напряжения ведет к искровому пробою. В коронированном поле образуются ионы обоих знаков, а в остальной области потока газа генерируются ионы, знак которых совпадает со знаком электрода. Благодаря местным дополнительным полям происходит выравнивание величины электрического поля, что ослабляет эффективность газоочистки. Неоднородное электрическое поле можно создать только при цилиндрической форме коронирующего электрода.

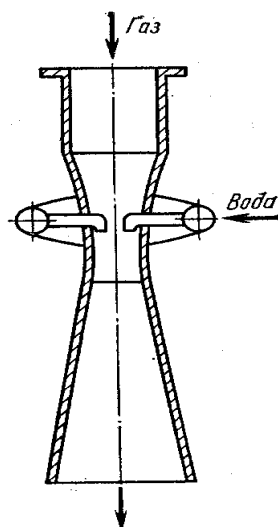


Рисунок 25. Труба-распылитель

Эффективность работы электрофильтров зависит не только от состояния газовой среды, но и от состояния электрода, поэтому обязательным условием хорошей работы устройства является чистота поверхности электродов. Для очистки электродов применяется их встряхивание и промывка водой.

На рисунке 25 приведена схема трубчатого электрофильтра типа ДМ с вертикальным движением газа. Электрофильтр имеет цилиндрический корпус 1 из листового металла. Внутри корпуса размещены коронирующие электроды 2, выполненные в виде проводок диаметром 5 мм, для обеспечения натянутости которых прикреплены натяжные грузы, и осадительные электроды 7. Осадительные электроды выполнены из труб внутренним диаметром 233 мм. Вода для промывки осадительных электродов подается через два коллектора 5, 6. Газ на очистку поступает через патрубок в нижней части аппарата. Для равномерного распределения

газа в поперечном сечении фильтра установлены направляющие лопатки и газораспределительные решетки 8.

Поток газа после прохождения выравнивающих решеток 8 поступает в трубы осадительных электродов 7 и электризуется. Заряженные частицы осаждаются на внутренней поверхности труб и затем оmyваются водой в нижнюю коническую часть аппарата. По мере накопления уловленных частиц шлак через гидрозатвор 10 и сбрасывающие лотки 9 направляется в отстойник.

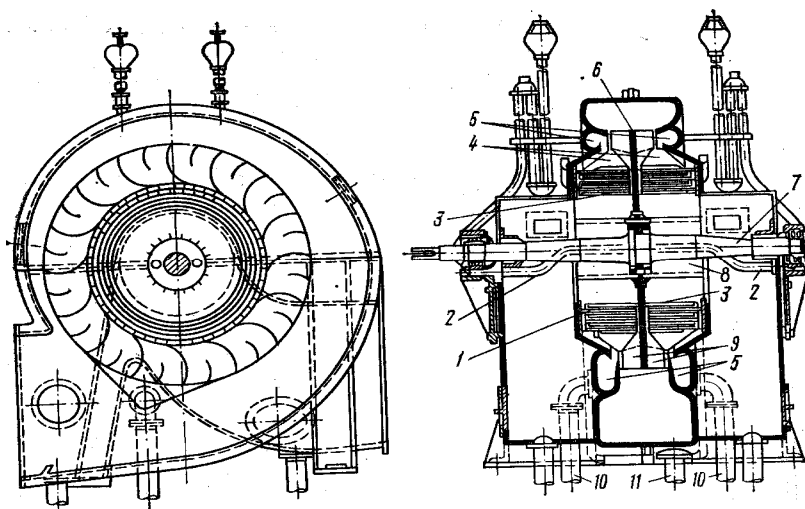
Для создания давления на колошнике печи в системах газоочистки используется дроссельное устройство, в корпусе которого смонтированы три дросселя грубой регулировки 1 диаметром 750 мм и дроссель тонкой регулировки 2 диаметром 400 мм. Дросселями грубой и тонкой регулировки в печи устанавливается необходимое повышенное давление, а при помощи клапанного дросселя 3 осуществляется автоматическая его стабилизация при изменении технологических параметров. Для снижения износа клапанов к дроссельной группе через специальную систему орошения 4 подведена вода.

Практика показала, что при достаточном перепаде давления и скорости газа, достигающей 200-250 м/с, дроссельная группа является эффективным газоочистным устройством. При работе по тому же принципу, что и труба Вентури, в дроссельной группе уменьшается содержание пыли в газе до 5—10 мг/м\*.

Основным недостатком дроссельной группы является большая потеря давления, которая даже частично не восстанавливается. В связи с применением на доменных печах бескомпрессорных газопутилизационных турбин, позволяющих использовать перепад давления для выработки электроэнергии, дроссельная группа не используется и в схеме газоочистки сохраняется как резервное устройство на случай выхода из строя турбин.

Дезинтегратор приведен на рисунке 26. Он представляет собой центробежный вентилятор, внутри корпуса которого вращается вал с дисками, снабженными лопастями. В дезинтегратор подают воду. Газ и вода просачиваются между подвижными и неподвижными бичами. В результате пыль тщательно перемешивается с мельчайшими частицами воды, которые отбрасываются к стенкам камер дезинтегратора. Подаваемая на стенки камер вода смывает отбрасываемые ротором мелкие капельки, содержащие частицы пыли. Производительность дезинтеграторов достигает 80 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Степень очистки газа в дезинтеграторах несколько ниже, чем в электрофильтрах, а расход энергии выше. Поэтому этот способ является менее перспективным.



1 — неподвижные бичи; 2 — труба для подвода воды; 3 — бичи; 4 — лопатки; 5 — корпус с неподвижными бичами; 6 — диск; 7 — вал; 8 — барабан с отверстиями; 9 — крылья вентилятора; 10 — труба для отвода шлама; 11 — труба для отвода воды

Рисунок 26. Дезинтегратор для очистки газа

Очищенный газ направляется на отопление воздухонагревателей доменного цеха (15—30 %), коксовых печей (30—32 %), нагревательных колодцев и печей прокатных цехов (20—25 %) и на другие нужды завода.

Сухую колошниковую пыль периодически выпускают из пылеуловителей в специальные вагоны, а загрязненную воду после мокрой газоочистки очищают в отстойниках, в которых осаждается до 92 % пыли в виде шлама, а около 8 % примесей уносится водой.

### Контрольные вопросы:

- 1 В чем смысл грубой очистки доменного газа
- 2 В чем смысл тонкой очистки доменного газа
- 3 В чем смысл полутонкой очистки доменного газа

### Список литературы:

- 1 Мартыненко В.А., Кухарь А.С. Производство агломерата. — М.: Металлургия, 1985. — 72с.

- 2 Селезнев А.Е. Оборудование агломерационных фабрик черной металлургии. М.: Металлургия, 1960. – 316с.
- 3 Геберт В., Ленер Й.,// Сталь. 2001. №12. С.81 – 84.

## **Лекция №10. Очистка газа в трубах распылителях-дроссельная группа**

- 1. Трубы распылители**
- 2. Дроссельные группы**

В современных газоочистительных схемах широко применяются установки труб – распылителей, называемых обычными трубами Вентури и помещаемых или перед скрубберами на входе в них газа, или, что чаще, после них на выходе. Производительность труб – распылителей достигает 380 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Принцип работы основан на прохождении газа через трубу, в горловину которой вводится вода для коагуляции частиц пыли. Равномерное распределение воды по всему сечению пережима достигается различной длиной эвольвентных двусторонних сопел (диаметр отверстия 15 мм), расположенных в два яруса и имеющих различное число выходных отверстий (от одного до трех) и различное избыточное давление подаваемой воды 274 – 410 кПа для труб с одним выходом и 68,6 – 206 кПа для труб с тремя выходами. Оптимальный расход воды при этом составляет 1,4 – 1,47 м<sup>3</sup>/1000 м<sup>3</sup> газа.

Струями газового потока, имеющего скорость 60 – 120 м/с, достигается тонкое распыление воды, которая увлекает частицы пыли. Более крупные частицы пыли оседают в шламоотделителе, другие улавливаются в скруббере или электрофилтре в зависимости от места установки трубы – распылителя.

Применяются несколько типов труб – распылителей, схемы которых приведены на рисунке 27. Имея одинаковый принцип устройства, они различаются способом подвода воды и имеют за рубежом такие названия, как трубы Пис-Анони-Вентури, Кемико-скрубберы (США и Англия) и пылеуловители Баумко (а); трубы SF-Вентури (б); Свенска флакт-фабрикен (в) (Швеция); трубки Кертинга или Аэрожет (Франция).

При работе доменной печи с высоким давлением газа на колошнике в трубах возможно достижение перепада до 49 кПа, что обуславливает высокую степень очистки доменного газа.

**Дроссельные группы.** В газоочистительных комплексах доменных печей, работающих с повышенным давлением газа на колошнике, устанавливаются дроссельные группы для регулирования давления газа и дополнительной очистки его от пыли. Принцип их работы аналогичен принципу работы труб-распылителей. Отличие состоит в том, что в трубе-распылителе около 80% энергии газа восстанавливается в диффузоре, тогда как в дроссельной группе энергия не восстанавливается, а расходуется для турбулентного перемешивания воды и газа. Степень очистки газа в дроссельной группе повышается при увеличении скорости его и количества воды, подаваемой для орошения.

Большая скорость газа в дроссельном устройстве, увлажнение и резкое изменение направления его движения способствует выделению из газового потока пыли и коагуляции ее частиц, что обеспечивает хорошее улавливание их в последующих агрегатах.

Для снижения абразивного износа клапанов и коагуляции пыли к дроссельным клапанам подводят воду, разбрызгиваемую при помощи форсунок.

Улучшение качества очистки газа после установки труб-распылителей и дроссельных групп в условиях повышенного давления газа на колошнике обусловило возможность перехода на схему очистки газа, принятую, в частности, для доменной печи объемом 5000 м<sup>3</sup>, а именно: сухой радиальный пылеуловитель – безнасадочный скруббер высокого давления – три трубы – распылителя с каплеуловителем и дроссельной группой.

Практика показала, что такая схема может снизить запыленность газа до 2,85 – 3,90 мг/м<sup>3</sup> при общем содержании пыли на выходе газа из печи 10,2 – 24,7 г/м<sup>3</sup>. Поэтому электростатический способ тонкой очистки газа заменяется комбинацией скрубберов высокого давления с трубами Вентури, что вполне обеспечивает необходимую степень очистки газа.

Основным недостатком тонкой очистки при помощи дроссельной группы является большая потеря давления, которое не восстанавливается даже частично, что вызывает высокие энергозатраты.

Перевод доменных печей на работу с повышенным давлением газа на колошнике, уменьшение в связи с этим скорости отвода газа, обогащение кислородом воздушного дутья, замена в шихте сырой железной руды агломератом или окатышей приводят к значительному снижению запыленности доменного газа и изменению фракционного состава пыли.

Повышение давления отходящего доменного газа позволяет использовать потенциальную энергию отходящего сжатого газа для выработки электроэнергии в газовых утилизационных бескомпрессорных турбинах (ГУБТ).

Для надежной работы турбин, исключаящей выпадение влаги в их хвостовой части, температура газа на выходе из турбины должна превышать точку росы. Поэтому минимальная входная температура на ГУБТ ( $P=0,3$  МПа) принята равной  $120^{\circ}\text{C}$ . Так как для очистки доменного газа применяются схемы мокрой очистки, то перед подачей газа в ГУБТ его необходимо подогревать.

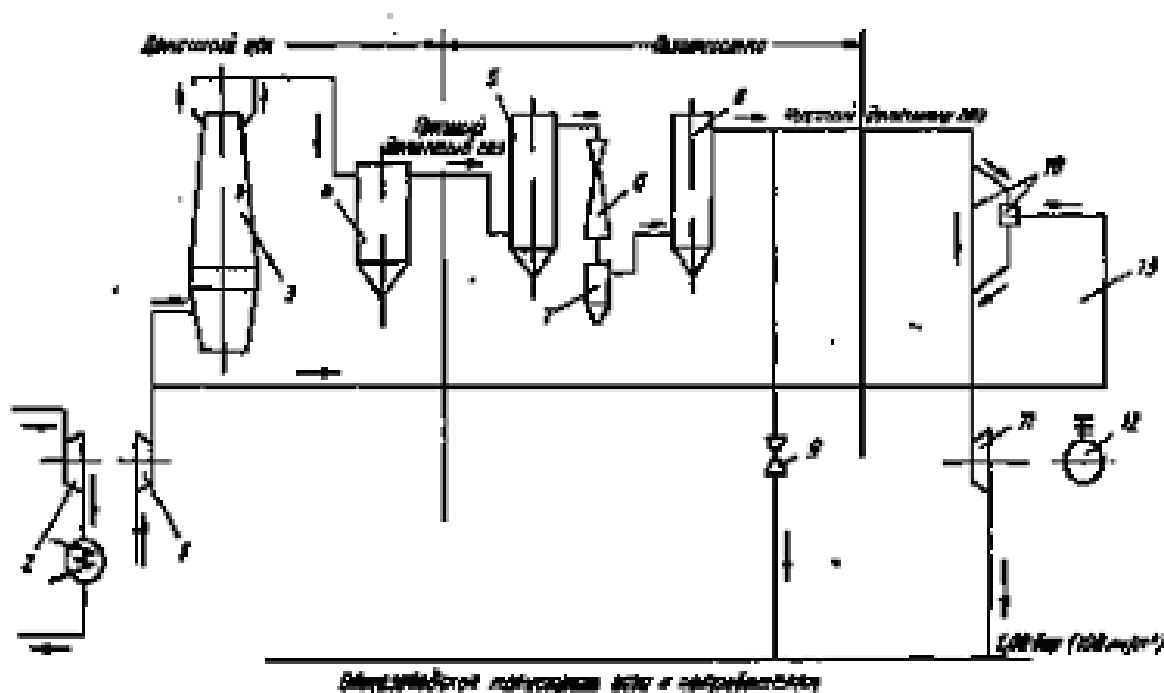
По техническим условиям ГУБТ температура поступающего в них доменного газа должна быть в пределах  $100-200^{\circ}\text{C}$ . Между тем, в случае мокрой очистки температура газа снижается до  $30-40^{\circ}\text{C}$  и перед турбиной его приходится снова подогревать, сжигая часть газа.

Поэтому чрезвычайно актуальной является сухая очистка доменного газа, при которой он будет поступать в ГУБТ с требуемой температурой и расход газа на подогрев, а также необходимое для подогрева оборудование станет не нужным.

Главным недостатком смешивающего подогрева для ГУБТ является балластирование горючего газа продуктами сгорания. Поверхностные нагреватели не нашли применения из-за их громоздкости и сложности эксплуатации, связанной с возможностью образования отложений пыли на поверхности теплообмена. На это указывает и опыт эксплуатации ГУБТ, когда при размещении смешивающего подогревателя непосредственно перед турбиной пыль не успевает высохнуть, и даже при малой запыленности газа ( $5 \text{ мг/м}^3$ ) в направляющем аппарате турбины, наблюдаются отложения пыли. Так доменный газ широко используется на металлургических заводах в основном в качестве топлива, допустимая величина содержания пыли в очищенном газе не должна превышать  $4 \text{ мг/м}^3$ .

Потребители доменного газа – коксовые печи, воздухонагреватели доменных печей, газовые утилизационные бескомпрессорные турбины. Для ограничения количества влаги в

подаваемом потребителям доменном газе охлаждение его осуществляется до температуры не ниже 35-40°C при давлении 0,1 МПа (влажность 47-63 г/м<sup>3</sup>). Это связано с тем, что выпадающая из газа влага способствует коррозии металла газоходов и является причиной затвердеваний отложений пыли на оборудовании. Повышенное содержание влаги снижает калорийность доменного газа и увеличивает потери тепла с отходящими газами.



1-доменная турбовоздуходувка; 2-паровая турбина; 3- доменная печь; 4-сухие пылеуловители; 5-скрубберы; 6- трубы-распылители; 7-водоотделители; 8-электрофильтры; 9-автоматическое дроссельное устройство; 10- смешивающий подогреватель; 11-ГУБТ; 12-электрогенератор; 12 воздух на горение в смешивающий подогреватель.

Рисунок 27. Газовые утилизационные бескомпрессорные турбины

### Контрольные вопросы:

- 1 Принцип работы труб распылителей
- 2 Какие типы труб применяются
- 3 Принцип работы дроссельных групп

### Список литературы:

- 1 Максименко Ю.Л. и др. Оценка воздействия на окружающую среду и разработка нормативов ПДВ. Справочник. – М.: СП Интермет Инжиниринг, 1999. - 480с.



2 Андоньев С.М. и др. Пылегазовые выбросы на предприятиях черной металлургии. – Харьков, 1998. – 346с.

3 Цой А.Д. Проблемы охраны атмосферного воздуха на предприятиях металлургического комплекса. – М.: ЦНИцветметэкономики и информации, 1993. – 148с.

## **Лекция №11. Характеристика отходящих газов мартеновских печей.**

### **1. Характеристика отходящих газов и пылей.**

Количество, состав и параметры дымовых газов.

В мартеновских цехах производится более 50 % всей выпускаемой стали.

В мартеновской печи дымовые газы образуются в результате сгорания топлива, нагрева и разложения сыпучих материалов и окисления углерода шихты (углекислый газ и оксид углерода).

Ниже приведено максимально возможное количество продуктов сгорания, поступающих на газоочистку при работе на природном газе:

Садка печи, ..	100	200	300	400	500	600	900
$V_{\text{max.тыс-м}}^{3/4}$	68	80	90	101	112	125	161

Как показывают промышленные исследования, на современных мартеновских печах количество продуктов сгорания перед газоочисткой из-за присосов по газовому тракту оказывается в 1,8—2,0 раза больше количества газов, образующихся в печи. Для печей, работающих с подачей мазута (20—50 % по теплу), количество продуктов сгорания увеличивается на 5%. Вследствие увеличения присосов к концу кампании объем уходящих газов увеличивается на 10—15%.

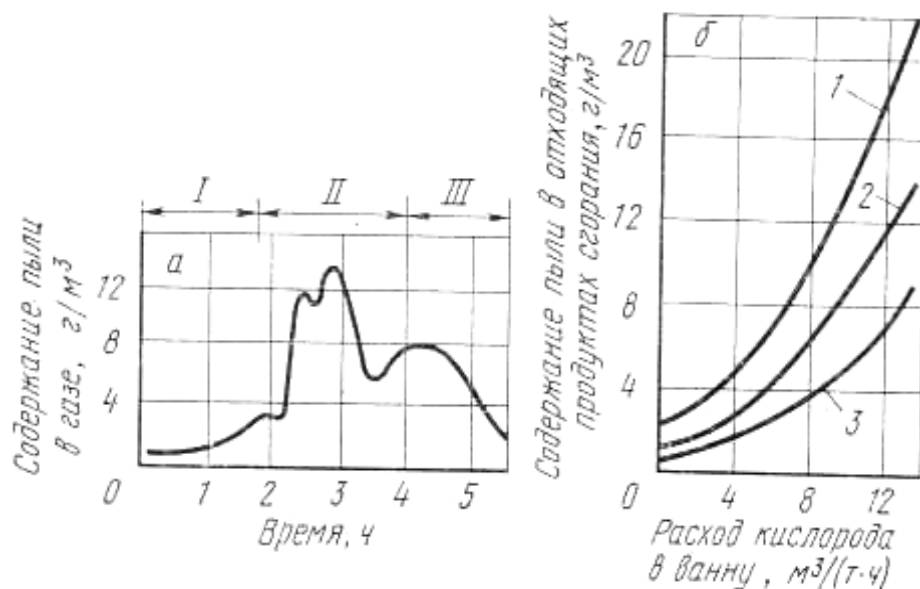
Температура газов после регенераторов — в среднем 600—700 °С, в период заливки чугуна на короткое время она повышается до 700—800 °С.

Средний состав уходящих продуктов сгорания печей, работающих на дутье, обогащенном кислородом, % (объемн.)-10,5—15,1 CO<sub>2</sub>; 16—16,5 H<sub>2</sub>O; 62,3—66,1 N<sub>2</sub>; 6,5—7,1 O<sub>2</sub>; следы SO<sub>2</sub>.

Пылевывнос и физико-химические свойства пыли. Уходящие газы мартеновских печей содержат большое количество пыли, выделение которой по ходу плавки (рис.1, а) неравномерно.

Максимальное пылевыведение наблюдается в период плавления при продувке ванны кислородом.

В начальный период плавки пыль крупная, она состоит из частиц руды, известняка и некоторых других компонентов. Пылеобразование связано с растрескиванием шихты при нагреве, а также с угаром оплавленного металла.



/ — прогрев (без кислорода); // — плавление (продувка кислородом);  
 /// — доводка (без кислорода)  
 1 — в вертикальном канале; 2 — под насадкой; 3 — в общем борове

Рисунок 28- Изменение запыленности газов мартеновской печи

В период плавления при продувке ванны кислородом выделяется большое количество мелкодисперсной пыли (размер частиц  $<1$  мкм). Большинство исследователей считают, что основной причиной образования пыли (бурого дыма) является испарение металла в зонах высокой температуры с последующим окислением и конденсацией в атмосфере печи. С увеличением удельного расхода (интенсивности продувки) кислорода количество выделяющейся пыли резко увеличивается (рис.1, б). Ниже приведен удельный вынос пыли при подаче в ванну кислорода:

Расход кислорода, $\text{м}^3/(\text{т} \cdot \text{ч})$	О	5	10	15
Выбросы, кг/т		2,4	7,2	16,7

Интенсивность пылевыведения существенно снижается с рассредоточением подачи кислорода. Оптимальными считают

шестисопловые фурмы с наклоном сопел 20—30° по отношению к горизонту.

Для снижения температуры в зоне продувки в струю кислорода иногда добавляют топливо (природный газ или мазут), сыпучие материалы (железорудный концентрат или известь) или просто воду. При этом выбросы пыли заметно сокращаются (на 20—30 %)

Основную часть пыли составляют оксиды железа, количество которых достигает 65—92%. Примерный состав мартеновской пыли перед газоочисткой при работе печи с продувкой кислородом, %: 92,7 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,9 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1,65 CaO; 0,9 MgO; 1,1 MnO; 0,8 SiO<sub>2</sub>.

Дисперсный состав пыли во многом зависит от интенсивности продувки ванны и для средних условий может быть выражен следующими цифрами:

Размер частиц, мкм	<1	1—5	>5
Содержание, %	60	34	6

Обработка этих данных показывает, что  $d_m = 0,8$  мкм;

Пыль, уносимая из печи, в значительной степени оседает по газовому тракту: 50—60 % в шлаковике, 15—20 % в регенераторах, 10—15% в котле-утилизаторе. Таким образом, запыленность газа после котла-утилизатора (перед газоочисткой) составляет 10—15 % содержания пыли в газах, выходящих из печи. При расчетах запыленность газа можно принимать следующей,  $\frac{г}{м^3}$ :

Без кислородной продувки	3-5/0,4-0,7
С кислородной продувкой	25-30/3-6

**Примечание.** В числителе — на выходе из печи, в знаменателе — перед газоочисткой.

Удельное электрическое сопротивление пыли составляет  $10^7—10^{10}$  Ом·см<sup>2</sup>.

В уходящих газах мартеновских печей, кроме пыли, содержатся вредные газообразные компоненты: 30—50 мг/м<sup>3</sup> оксидов серы и 200—400 мг/м<sup>3</sup> оксидов азота.

Из отходящих газов мартеновских печей газообразные компоненты в настоящее время не улавливаются.

**Контрольные вопросы:**

- 1 Понятие о отходящих газах и пылях
- 2 Характеристика мартеновских печей.
- 3 Из чего состоит основная часть пыли?

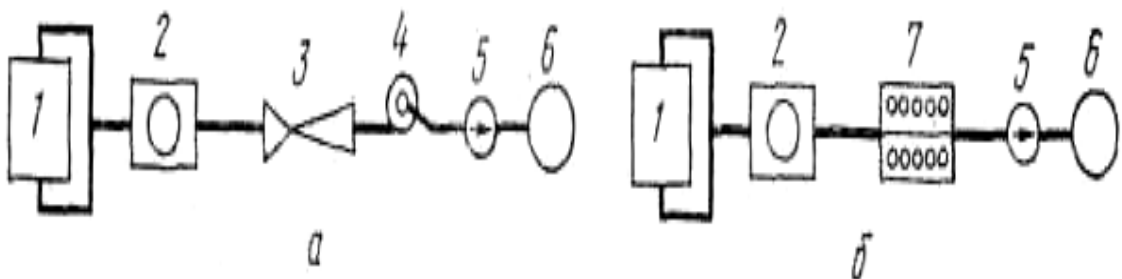
**Список литературы:**

- 1 Мартыненко В.А., Кухарь А.С. Производство агломерата. – М.: Металлургия, 1985. – 72с.
- 2 Селезнев А.Е. Оборудование агломерационных фабрик черной металлургии. М.: Металлургия, 1960. – 316с.
- 3 Старк С.Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. – М.: Металлургия, 1972. – 406с.

**Лекция №12. Обеспыливание отходящих газов мартеновских печей.**

- 1. Обеспыливание отходящих газов мартеновских печей**
- 2. Очистка отходящих газов двухванных печей**

Практически за всеми крупными мартеновскими печами установлены котлы-утилизаторы, в которых за счет выработки водяного пара температура отходящих газов снижается с 600- 700 до 220-250 °С. Котлы-утилизаторы мартеновских печей типизированы и изготавливаются в серийном порядке котлостроительными заводами.



*а* - мокрая очистка в скрубберах Вентури ; *б* - сухая очистка в электрофильтрах.  
1 - мартеновская печь; 2- котел-утилизатор; 3 - трубы Вентури; 4- каплеуловитель;  
5 - дымосос; 6 - дымовая труба; 7 - сухой электрофильтр

**Рисунок 29- Применяемые схемы охлаждения и очистки газов мартеновских печей**

Для очистки отходящих газов мартеновских печей как в бывшем СССР, так и за рубежом применяют в основном установки двух типов: сухой очистки в электрофильтрах и мокрой очистки в скрубберах Вентури. Эффективность обоих аппаратов приблизительно одинакова: и в том, и в другом случае можно снизить концентрацию пыли в отходящих газах до  $100 \text{ мг/м}^3$ , что соответствует санитарным требованиям.

Наиболее подходят для очистки мартеновских газов электрофильтры типа ЭГА, обеспечивающие при скорости газов 1-5 м/с

Таблица 6-Технико-экономические показатели схемы очистки газов мартеновских печей

Показатели	Печи емкостью, т		
	200	400	600
Расход отходящих газов, млн. $\text{м}^3/\text{год}$ . . . . .	693,6/693,6	1020/1020	1713,6/1713,6
Годовые капитальные затраты, руб/1000 $\text{м}^3$ . . . . .	0,993/0,816	0,894/0,685	0,794/0,678
Годовые эксплуатационные расходы, руб/1000 $\text{м}^3$ . . . . .	0,294/0,171	0,270/0,141	0,248/0,123
Количество пыли (сухой), подготовленной к утилизации, тыс. т . . . . .	3,5/3,5	5,6/5,6	9,7/8,7
Стоимость побочной продукции (пара, пыли, шлама), руб/1000 $\text{м}^3$ . . . . .	0,065/0,065	0,071/0,071	0,066/0,066
Годовые приведенные затраты на очистку газов и подготовку пыли к утилизации, руб/1000 $\text{м}^3$ . . . . .	0,348/0,204	0,306/0,152	0,277/0,138
То же, руб/т стали . . . . .	1,049/0,615	0,844/0,419	0,818/0,408

**Примечание.** В числителе - очистка газов в скрубберах Вентури (с учетом стоимости водного хозяйства), в знаменателе — очистка газов в электрофильтрах. При скорости 1,2 м/с степень очистки 98—99 %. Примерно такую же степень очистки могут дать прямоугольные трубы Вентури с регулируемой горловиной, работающие со скоростью газов в горловине 100—120 м/с и удельным расходом воды 1 —1,2  $\text{дм}^3/\text{м}^3$ . Технико-экономическое сравнение обоих вариантов для печей различной емкости дает следующие результаты (таблица 6). Результаты технико-экономического анализа показывают, что очистка газов в

электрофиль-трах дешевле, чем в скрубберах Вентури: суммарные удельные затраты уменьшаются по мере увеличения емкости печи, причем в варианте с электрофильтрами более быстрыми темпами. Стоимость газоочистки составляет в среднем около 20—25 % общей стоимости цеха.

Таким образом, в современных условиях для очистки отходящих газов мартеновских печей следует рекомендовать электрофильтры типа ЭГА. Только в тех случаях, когда электрофильтр из-за отсутствия места установить невозможно, следует применять скрубберы Вентури, из которых наиболее подходящими являются трубы Вентури с регулируемым сечением прямоугольной горловины, снабженные каплеуловителями с завихрителем.

На ряде металлургических предприятий мартеновские печи реконструированы в двухванные, которые работают значительно интенсивнее. Количество отходящих газов из рабочего пространства холодной камеры равно 50 000—60 000 м<sup>3</sup>/ч, их температура 1400—1500 °С. В отходящих газах содержится, %: 4—11 СО<sub>2</sub>; 0,2—0,8 СО; 8—17 О<sub>2</sub>. При неполном сгорании содержание СО увеличивается до 10 % и выше.

Запыленность отходящих газов 15—25 г/м<sup>3</sup>. Пыль, содержащаяся в газах, имеет следующий химический состав, %: 86,4 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2,61 FeO; 5,9 SiO<sub>2</sub>; 1,94 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2,26 СаО; 2,16 MgO; 0,47 MnO; 1,7 S.

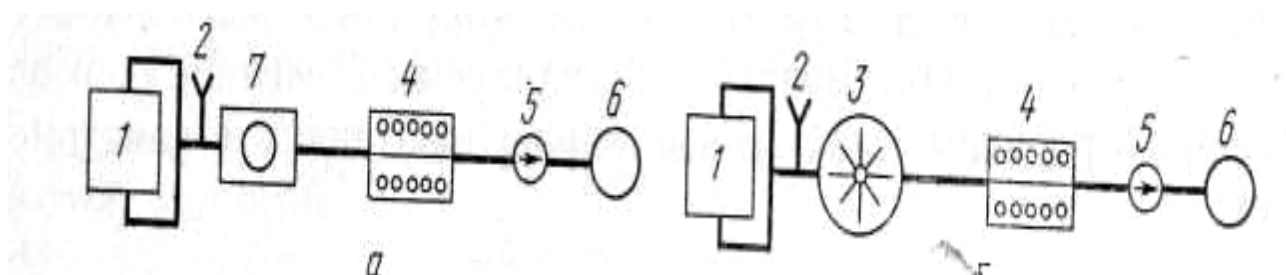
Ниже приведен дисперсный состав пыли, замеренный при расходе 6000—6500 м<sup>3</sup>/ч кислорода на продувку ванны:

Размер частиц, мкм.	<1	1—3	3—10	>10
Содержание, % (по массе)	35	37	21	7

Высокая температура отходящих газов требует применения для их охлаждения котлов-утилизаторов радиационно-конвективного типа (серии РК). Такие котлы-утилизаторы разработаны Центроэнергочерметом, однако до настоящего времени в серийном порядке не изготавливаются. Вследствие этого охлаждение отходящих газов двухванных печей перед очисткой приходится осуществлять нерациональными способами — впрыскиванием воды или разбавлением воздухом. Используют и котлы-утилизаторы серии КУ, предназначенные для мартеновских печей.

В СССР имелся опыт эксплуатации за двухванными печами сухой и мокрой систем газоочистки. При сухой схеме газоочистки

(рис.3) дымовые газы, выходящие из холодной камеры двухванной печи с температурой 1400—1500 °С, по вертикальному каналу поступают в шлаковик, где охлаждаются впрыскиванием воды до 900—1000 °С. Дальнейшее охлаждение газов до 700 °С, предусматривающее также дожигание оксида углерода, осуществляют подсосом холодного воздуха в общий боров через специальные люки. Далее по футерованному шамотным кирпичом газоходу газы отводят или в котел-утилизатор типа КУ (рис.3 а), или в форсуночный скруббер полного испарения, частично футерованный огнеупорным



а - с охлаждением в котле-утилизаторе; б - с охлаждением в скруббере 1- двухванная печь; 2 - подвод воздуха для дожигания СО охлаждения; 3 - испарительный скруббер; 4 - сухой электрофильтр; 5 - дымосос; 6 - дымовая труба; 7 - котел-утилизатор

Рисунок 30- Применяемые схемы охлаждения и сухой очистки отходящих газов двухванных печей в электрофильтрах

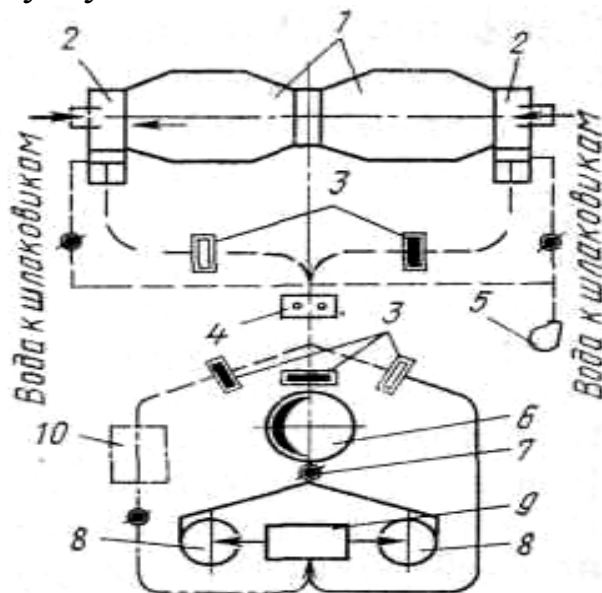
кирпичом. В скруббере газы охлаждаются до 200 °С и увлажняются до состояния насыщения. После скруббера установлен электрофильтр типа ЭГА с игольчатыми коронирующими и С-образными осадительными электродами. Надежным и устойчивым является режим работы при следующих параметрах:

Расход кислорода на продувку $\text{м}^3/\text{ч}$ .....	6000
Температура газа перед электрофильтром, °С .....	200
Скорость газа в электрофильтре, м/с .....	1,1
Концентрация пыли в газе, г/м <sup>3</sup> :	
перед скруббером .....	7,5
перед электрофильтром .....	3,05
после электрофильтра .....	0,092

В пределах данного режима газоочистка за двухванной печью работоспособна и эффективна.

На одном из предприятий Юга страны за двухванной печью работает мокрая газоочистка со скрубберами Вентури. На этой установке газы также охлаждаются до 900—1000 °С в шлаковике впрыскиванием воды. В борове газы охлаждаются до 700 °С путем разбавления их воздухом, подаваемым вентилятором через специальное сопло диаметром 700 мм, установленное на входе в боров. Одновременно происходит дожигание оксида углерода, для чего в борове размещены специальные горелки.

Охлажденные до 700—800 °С газы направляются в серийный котел-утилизатор типа КУ-80 (рис.31), после чего с температурой 220—250 °С они поступают на газоочистку. Система газоочистки включает 10 параллельно работающих труб Вентури круглого сечения с диаметром горловины 250 мм, изготовленных из стали X18H10T, устойчивой к воздействию высоких температур и агрессивных сред. После труб Вентури газы поступают в каплеуловители, а затем дымососами ВМ-100/1200 выбрасываются в дымовую трубу. При скоростях газа в горловине труб Вентури в пределах 115—125 м/с и удельном расходе воды 1—1,2 дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> газоочистка работает со степенью очистки более 99 % при расходе кислорода на продувку 4000—6000.



1 - двухванная печь; 2 - шлаковики; 3 - шиберы; 4 - горелки для дожигания СО; 5 - вентилятор для подачи воздуха; 6 - дымовая труба; 7 - дроссельный клапан; 8 - дымососы; 9 - скруббер Вентури; 10 - котел-утилизатор

Рисунок 31- Схема охлаждения и мокрой очистки отходящих газов двухванных печей



В случае отключения котла-утилизатора газы с температурой 700—800 и даже 900 °С подаются прямо в трубы Вентури. Эффективность работы газоочистки при этом не снижается.

### **Контрольные вопросы:**

- 1 Какие установки применяют для очистки отходящих газов мартеновских печей?
- 2 Какие фильтры используют в современных условиях для очистки отходящих газов?
- 3 Особенности двухванных печей.

### **Список литературы:**

- 1 Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. М.: Металлургия, 1990. - 400 с.
- 2 Очистка технологических газов в черной металлургии. Толочко А.И., Филиппов В.И., Филиппьев О.В. М.: Металлургия, 1982. -280 с.
- 3 Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. Андоньев С.М., Зайцев Ю.С., Филиппьев О.В. Харьков, 1998. - 320 с.

## **Лекция №13. Оксиды азота, неорганические выбросы и борьба ними в мартеновском производстве.**

1. Оксиды азота и борьба с ними в мартеновском производстве.
2. Неорганические выбросы и борьба с ними.

В отходящих газах мартеновских печей из оксидов азота содержится в основном NO, которая в атмосфере очень медленно окисляется и переходит в NO<sub>2</sub>. При работе мартеновских печей с кислородной продувкой содержание оксидов азота в дымовых газах колеблется от 500 до 1200 мг/м<sup>3</sup>, возрастая в период доводки до 2200 мг/м<sup>3</sup>. Удельный выход оксидов азота 0,6—1,8 кг/т стали. В дымовых газах двухванных печей содержание оксидов азота ниже и находится в пределах 120— 320 мг/м<sup>3</sup>, а удельный выход их равен 0,06—0,23 кг/т стали. Несколько снизить выход оксидов азота можно путем подачи при продувке в кислородные фурмы природного газа. Однако при этом снижается

скорость выгорания углерода, а следовательно, и производительность печи. Другим технологическим мероприятием, снижающим выход оксидов азота, является перевод печей с мазутного и газомазутного отопления на отопление чистым природным газом, так как при этом устраняется переход в NO связанного азота, находящегося в мазуте. Однако это усложняет конструкцию и эксплуатацию мартеновской печи, требуя применения специальных горелочных устройств (реформаторов) для образования сажистых частиц и повышения светимости факела. В заводской практике ни тот, ни другой способы не нашли широкого применения.

Наиболее перспективным способом очистки мартеновских газов от оксидов азота является каталитическое восстановление газов аммиаком. Оксид ванадия (V), применяемый в качестве катализатора, требует, чтобы температура газа была не ниже 250—300 °С, а запыленность не выше 0,1 г/м<sup>3</sup>. Поэтому в случае очистки газов в электрофильтрах реактор целесообразно размещать после электрофильтра, повышая температуру газа до указанных пределов за счет недоохлаждения его в котле-утилизаторе. В случае мокрой очистки следует применять подогрев очищенного газа перед реактором за счет сжигания природного газа.

Помимо выбросов через дымовые трубы, газы, загрязненные пылью и вредными газообразными компонентами, выделяются внутрь цеха через завалочные окна печей, от разливочных ковшей и другого оборудования. Выбросы от мартеновских печей садкой 500—900 т приблизительно могут быть оценены следующими цифрами, м<sup>3</sup>/ч, в межпродувочный период 3000—5000; в период кислородной продувки 6000—12 000. В результате этих выбросов воздух в цехе оказывается весьма загрязненным. Концентрации пыли и СО составляют соответственно 4—10 и 0,01—0,03 мг/м<sup>3</sup>.

Валовые выбросы оксида углерода на основных участках сталеплавильного цеха составляют, кг/т чугуна (стали):

В миксерном отделении .....	0,3-0,4
В главном здании .....	1-2
Во дворе изложниц .....	0,25-0,30

Систем принудительной вентиляции в сталеплавильных цехах обычно нет. Вентиляция цеха осуществляется посредством аэрации,

загрязненные выбросы выходят в атмосферу через аэрационные фонари.

Борьба с выбросами газов через окна печей ведется в двух направлениях: отвод выбивающихся газов с помощью аспирационных систем и создание воздушных завес на окнах. Аспирационные системы занимают много места, дороги в эксплуатации и мешают при проведении ремонта печи. Поэтому более перспективно второе направление. Из сопел диаметром 12—15 мм, размещенных с шагом 65 мм, вытекают со скоростью 80—120 м/с струи воздуха, перекрывающие площадь рам. При оптимальном разрежении под сводом 35—45 Па полное устранение пылегазовых выбросов достигается при расходах сжатого воздуха около 2,6 тыс. м<sup>3</sup>/ч на каждое открытое и около 1,3 тыс. м<sup>3</sup>/ч на каждое закрытое окно. При этом количество поступающих в тракт газов увеличивается на 5—7 %.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Содержание оксидов азота в отходящих газах мартеновских печей.
2. Способы очистки мартеновских газов от оксидов азота.
3. Назовите направления борьбы с выбросами газов через окна печей.

#### **Список литературы:**

- 1 Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. М.: Металлургия, 1990. - 400 с.
- 2 Очистка технологических газов в черной металлургии. Толочко А.И., Филиппов В.И., Филиппев О.В. М.: Металлургия, 1982. -280 с.
- 3 Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. Андоньев С.М., Зайцев Ю.С., Филиппев О.В. Харьков, 1998. - 320 с.
- 4 Старк С.Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. – М.: Металлургия, 1972. – 406с.

#### **Лекция №14. Способы и виды очистки конверторных газов.**

##### **1. Сравнение и преимущества различных видов, способов очистки конверторных газов.**

Запыленность конверторных газов в сильной степени зависит от показателей кислородной продувки, а также от схемы подачи и качества (гранулометрического состава, влажности) извести и других сыпучих, вводимых в конвертор против потока газов и уносимых последним; содержание пыли в газе достигает  $250 \text{ г/м}^3$ . Многочисленные замеры показывают, что повышение интенсивности кислородной продувки не дает существенного повышения запыленности газов; на некоторых установках суммарный вынос пыли даже уменьшается (в процентах к массе садки). При этом вследствие интенсификации всегда возрастает количество пыли, проносимой газами в единицу времени, через Газоотводящий тракт, в результате чего возрастает нагрузка на газоочистную установку.

Способ отвода газов от конверторов (с доступом или без доступа воздуха в газовый поток), а также способ охлаждения газов (поверхностный или впрыскиваемой водой) определяют количество и состав газов и их продуктов сгорания, входящих в газоочистительный аппарат, % также гранулометрический состав пыли, содержание пыли на  $1 \text{ м}^3$  газов, степень насыщения влагой, состав газов.

Газоочистная установка должна обеспечивать очистку газов от пыли до санитарных норм при любом способе отвода и охлаждения газов. Санитарные нормы запыленности газов, выбрасываемых в атмосферу, из года в год ужесточаются. Содержание пыли в газах, выбрасываемых в атмосферу, не должно превышать  $100 \text{ мг/м}^3$  (в среднем за период кислородной продувки). В ближайшие годы следует ожидать, что с ростом интенсивности работы основных технологических агрегатов металлургических предприятий величина остаточной запыленности будет снижена, по крайней мере, до  $80 \text{ мг/м}^3$ .

Изложенные условия определяют величину коэффициента улавливания пыли в системах газоочистки, т. е. по мере снижения допустимой остаточной запыленности должен повышаться коэффициент улавливания пыли в газоочистке.

В таблице 7 приведены примерные величины запыленности газов перед газоочисткой в зависимости от способа отвода газов при их поверхностном охлаждении и коэффициенты улавливания, которые должны быть обеспечены системой газоочистки.

Таблица 7-Качество газов, входящих в систему газоочистки, и коэффициенты улавливания аппаратов.

Показатели	Способ отвода конверторных газов			
	Полное сжигание $\alpha \geq 1$	Недожег $1 > \alpha > 0,75$	Частичное сжигание $0,6 > \alpha > 0,15$	Без дожигания $0,11 > \alpha > 0$
Количество пыли перед газоочисткой, $г/м^3$	25 - 60	35 - 70	50 - 125	150 – 250
Доля частиц, %, размером мкм:				
40	20	-	-	31
40-30	13	-	-	12
30-20	39	-	-	29
20-10	16	-	-	20
10	12	-	-	6
Коэффициенты улавливания пыли, %, при остаточной запыленности, $мг/м^3$				
150	99,5	99,6	99,7	99,8
100	99,6	99,7	99,8	99,85
80	99,7	99,75	99,85	99,9

Коэффициент улавливания определяли, как отношение массы уловленной пыли к массе пыли, вносимой в газоочистку.

Запыленность газов, их состав, требуемая степень очистки в аппаратах указывают, что при переходе от системы отвода с полным сжиганием газов к системам без дожигания запыленность газа, входящего в газоочистку, возрастает. В то же время при верхней кислородной продувке пыль более крупная, легче отделяется, при донном дутье — более мелкая, и ее отделение усложняется.

Все многочисленные способы очистки газов можно разделить на две основные группы: мокрую и сухую очистку. Для мокрой очистки используют скрубберы, различной конструкции, дезинтеграторы, трубы Вентури (именуемые также трубами-распылителями) различных модификаций, размеров и конструкций. К этому же классу относят и мокрые электрофильтры.

Принципиально для всех аппаратов мокрой очистки характерны смачивание газа и следовательно, находящейся в нем пыли, коагулирование частиц пыли и удаление их из потока газов. Поэтому в аппаратах мокрой очистки устанавливают, как правило, сепараторы, влаго-отделители, циклоны или ловушки различных конструкций, назначение которых улавливать выносимые из

основного потока смоченные и скоагулированные частицы пыли. Неотъемлемой частью мокрых газоочисток является водное хозяйство. Весьма часто качество очистки определяется не собственно конструкцией аппаратов, а качеством воды (содержанием твердых частиц, водородным показателем и др.), поступающей на газоочистку. По соображениям охраны окружающей среды не допускаются работа мокрых очисток по разомкнутому циклу, и даже эпизодический сброс воды из оборотных циклов в водоемы.

Для аппаратов сухой очистки характерно удаление пыли без смачивания, например коагуляция частиц в электрофильтрах вследствие зарядки их частиц в электрическом поле в результате адсорбции ионов поверхностью частиц в поле коронного разряда, в активной зоне рукавных фильтров за счет статического электричества, а на самой ткани в результате автофильтрации.

Один и тот же газоочистной аппарат работает на разных предприятиях даже за одинаковыми технологическими агрегатами, в разных условиях: различны запыленность газа, состав, температура и др. Результаты расчета аппаратов очистки газа большей частью не подтверждаются достигаемыми на практике результатами. Поэтому наиболее правильным подходом при определении габаритов и выборе типа аппаратов для очистки газов от пыли является аналогия с действующей или моделирование на экспериментальной установке с внесением коррективов, основанных на опыте ее эксплуатации, особенностях технологии и новых исследованиях.

Многочисленные технико-экономические расчеты показывают, что в принципе нельзя отдать предпочтение сухой электростатической или мокрой очистке газа. Вместе с тем следует отметить, что в отдельных конкретных условиях в зависимости от эксплуатационных показателей (заработной платы, стоимости электроэнергии, наличия водных ресурсов, возможности использования шлама, стоимости оборудования), а также способа отвода и охлаждения газов может оказаться целесообразным применять либо мокрый, либо сухой способ очистки газов.

Сухие газоочистки имеют следующие способы очистки газов можно разделить на две основные группы: не требуется в большом количестве вода, что позволяет обойтись без сопутствующих хозяйств — грязного оборотного цикла, установок по стабилизации воды, устройств для дегазации воды (от окиси углерода) и т. д.;

сокращается неизбежный выброс окиси углерода в атмосферу, так как зажигание свечи при сухом газе с температурой 150—200 °С обеспечивается уже при 12—18% CO, тогда как газы, насыщенные влагой и имеющие температуру 40—50 °С, загораются только при 22—30% CO;

увеличивается период использования газа как топлива; значительно сокращается расход электроэнергии на отсос газов.

Несмотря на эти преимущества сухих фильтров, при современном уровне конверторного производства не исключены технологические неполадки, при которых может образоваться взрывоопасная смесь. Электрофильтр является запалом для такой смеси. Тканевые же фильтры сложны, громоздки и не обеспечивают необходимой газоплотности. Именно по этим причинам в настоящее время отдают предпочтение мокрой очистке. В мировой практике большее распространение получили мокрые системы очистки (80%) и только в США при отводе газов с  $a > 1$  сухие электростатические (примерно половина газоочисток). Тканевых газоочисток на конце 1978 г. работало только семь.

### **Контрольные вопросы:**

1. От чего зависит запыленность конверторных газов?
2. Что определяют способы отвода газов от конверторов, а также способ охлаждения газов?
3. Санитарные нормы запыленности газов.
4. Назовите основные группы способов очистки газов.
5. Характеристики мокрой очистки.
6. Преимущества сухой очистки.

### **Список литературы:**

- 1 Старк С.Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. – М.: Металлургия, 1972. – 406с.
- 2 Очистка технологических газов в черной металлургии. Толочко А.И., Филиппов В.И., Филиппьев О.В. М.: Металлургия, 1982. -280 с.
- 3 Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. Андоньев С.М., Зайцев Ю.С., Филиппьев О.В. Харьков, 1998. - 320 с.
- 4 Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. М.: Металлургия, 1990. - 400 с.

## **Лекция №15. Мокрая очистка конверторных газов.**

- 1. Трубы-распылители с высоким сопротивлением движения**
- 2. Большие трубы-распылители**
- 3. Трубы-распылители с небольшим сопротивлением движению, использующие эффект конденсации**
- 4. Мокры электрофилтры**

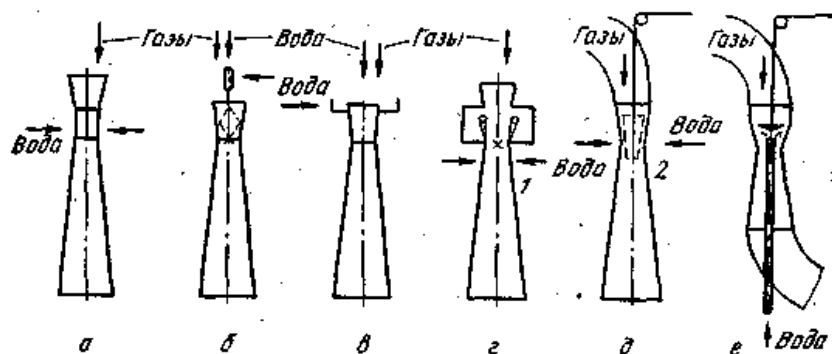
В мокрых газоочистках основным элементом являются трубы-распылители (трубы Вентури); работает несколько установок и с мокрыми электрофилтрами. Газоочистки, включающие трубы-распылители, можно подразделить на две группы, отличающиеся принципом работы: трубы-распылители с высоким гидравлическим сопротивлением и с низким гидравлическим сопротивлением и использованием эффекта конденсации.

Условно будем считать, что сопротивление газоочистки менее 5000 Па является низким, а более 8000 - 10 000 Па высоким. Температура газов, входящих в трубы-распылители с высоким сопротивлением, не превышает 300 - 400 °С, а в трубы, использующие эффект конденсации, равна температуре насыщения (70 - 90 °С). Поэтому в зависимости от температуры газов после охладителя перед трубами-распылителями размещают скруббер или другие устройства, в которых происходит охлаждение газов до указанных температур. Вслед за трубами-распылителями в тракт включаются сепараторы (циклоны или другие влагоотделители). Таким образом, мокрая газоочистка является многоступенчатой: как минимум двухступенчатой (труба-распылитель и влагоотделитель); большей частью - трехступенчатой (циклон, труба-распылитель и влагоотделитель); иногда пятиступенчатой (труба-распылитель большого размера с малой скоростью газа, сепаратор, труба-распылитель с высокой скоростью газа, сепаратор, влагоотделитель). Ведутся эксперименты по созданию более простых и эффективных газоочисток.

На рисунке 32 показаны принципиальные схемы подвода потоков газа и воды в трубу-распылитель. Как видно, поток газов проходит вдоль трубы, а поток воды подводится через центральное сопло (а), через отверстия в горловине трубы (б) или стекает по всей внутренней плоскости конфузора — суживающей части (в). В



зависимости от схемы отвода газов, в которой работают трубы — изменением положения диска. При этом сечение трубы может быть круглым или прямоугольным. Малые трубы-распылители с круглым сечением горловины (рисунок 33). Трубы-распылители с центральным соплом 2, распыливающим воду, состоят из группы малых труб.



а - подвод воды в горловину; б - подвод воды через сопло; в - подвод воды по периметру конфузора; г - труба с изменением сечения горловины поворотными заслонками; д - труба с изменением сечения горловины передвижным конусом; е - труба с изменением сечения передвижным диском.

Рисунок 32- Принципиальные, схемы труб-распылителей

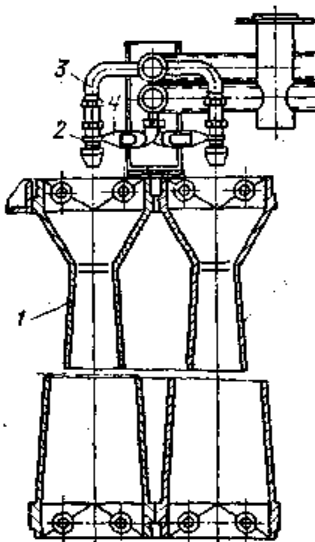


Рисунок 33- Компоновка малых труб распылителей

Вода подводится к соплу по оси 3 и тангенциально 4. Все сочленения и арматура выполняются из нержавеющей, коррозионностойкой стали или медными. Трубы-распылители чугунные или из нержавеющей металла.

Весьма часто конфузторы труб выполняют съемными и заменяемыми. Чтобы исключить забивание сопел, вода,

поступающая к ним, не должна содержать взвешенных твердых веществ более 50 мг/кг. Сопла тщательно устанавливаются по оси трубы, создавая по периметру равномерный веер разбрызгиваемой воды.

Опыт эксплуатации показывает, что малые трубы-распылители предъявляют повышенные требования к величине водородного показателя (рН) воды оборотного цикла газоочистки. При  $\text{pH} = 8 \div 9$  трубы обычно чистые; при рН около 10 появляются отложения в горловине, которые очень быстро нарастают при  $\text{pH} > 12$ . Практически при  $\text{pH} \approx 11$  за 16 плавов толщина отложений в горловине труб Вентури достигла 10 мм. Отложения представляют собой чередующиеся слои: белые (известь) и коричневые (конверторная пыль). Радикальной мерой, исключающей такие отложения, являются стабилизация состава воды и поддержание водородного показателя в пределах 8 - 9.

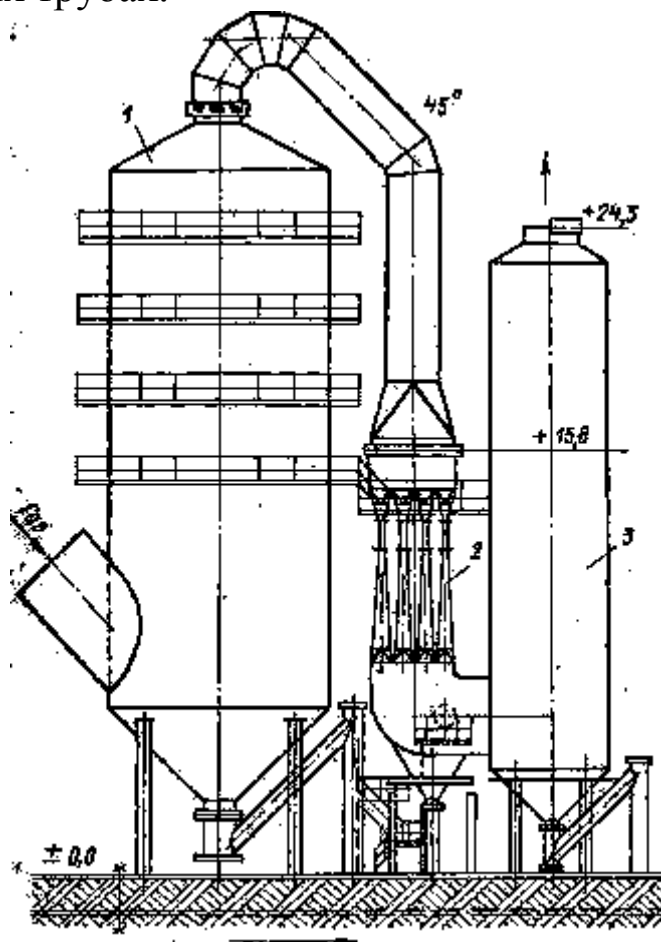
Часто применяются малые трубы с диаметром горловины 90 мм. Степень улавливания пыли в таких трубах-распылителях в зависимости от их сопротивления, по данным Симона, приведена ниже:

Через каждую трубу диаметром 90 мм проходит примерно 2000 м<sup>3</sup>/ч продуктов сгорания; расход воды 1,0 л/м<sup>3</sup> газов. Скорость газов в горловине около 90 м/с. На рис. 1 показана конструкция газоочистке “Гипрогазоочистка” состоящая из скруббера 7, труб-распылителей 2 (64 шт. диаметром 90 мм) и циклонного влагоотделителя 3. О высоком качестве очистки говорит отсутствие влаги в газах перед дымососом. В таблице приведены результаты замеров запыленности газов после такой газоочистки. Расход воды на скруббер 1800 м<sup>3</sup>/ч на сопла труб-распылителей 120 м<sup>3</sup>/ч. Количество продуктов сгорания за газоочисткой 100000 м<sup>3</sup>/ч. Интенсивность орошения в скруббере около 18 кг воды 1 м<sup>3</sup> газов; удельный расход воды в трубах-распылителях 1,2 л/м<sup>3</sup>, сопротивление труб 10 000 Па.

В малых трубах-распылителях с подводом воды через сопло, расположенное по оси, поток газов пересекает водяной веер дважды: перед входом в трубу, а затем, когда поток воды отразился от стенок конфузора, при входе в наиболее узкую часть — горловину. В последнем случае скорость газов максимальна. Этим достигается хорошая смачиваемость всех частиц пыли - вода как бы их обволакивает, пыль коагулируется и выводится из потока при резких

поворотах после труб или в сепараторах-влагоотделителях, завихрителях и других устройствах.

Приведенные данные подтверждают высокую степень улавливания в таких трубах.



1 - скруббер; 2 - трубы-распылители; 3 - влагоотделитель

Рисунок 34- Общий вид газоочистки с малыми трубами

Недостатком этих конструкций является большое количество труб и сопел, подлежащих надзору. В новых установках малые трубы Вентури не применяются.

Большие трубы-распылители. Более простыми являются газоочистки, состоящие из труб-распылителей большого диаметра, так как их количество невелико (одна-две) и в них часто отсутствуют сопла, а вода подается через отверстия по периметру горловины.

В трубах, у которых вода подводится по периметру или подается поперек горловины, переливается через стенки конфузора или направляется по диску, газ встречается с потоком воды один раз,

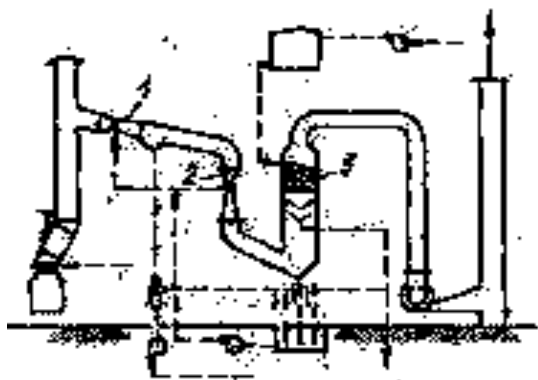


Рисунок 35- Газоочистка, состоящая из двух последовательных труб-распылителей большого (1) и малого (2) диаметров и влагоотделителя (3)

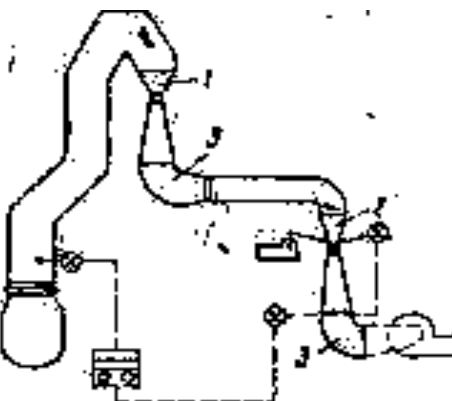


Рисунок 36- Газоочистка фирмы «Баумко» из двух последовательных труб-распылителей (1) и (2) и угловых сепараторов (3) после каждой трубы

поэтому он должен обладать более высокой энергией и скоростью, чтобы раздробить поток воды и увлажнить все частицы. Для обеспечения высокой эффективности гидравлический перепад на больших трубах обычно принимается равным 12 000 Па по сравнению с 9000 Па на малых трубах. Скорости газов в горловине больших труб 120 - 180 м/с, а в горловине малых труб 80 - 100 м/с; удельные расходы электроэнергии соответственно 5 - 12 и 10 кВт·ч на 1000 м<sup>3</sup> продуктов сгорания.

Сопоставлена эффективность очистки газов в малых трубах Вентури и в средних по величине (соответственно с диаметрами горловин 90 и 300 мм). Показано, что малые трубы более эффективны и в них легко достижима очистка до 60 мг/м<sup>3</sup>.

Газоочистки, состоящие из малых труб-распылителей, применяют в настоящее время редко из-за их большого числа и повышенных эксплуатационных расходов; кроме того, при засорении одного - двух сопел очистка газов резко ухудшается. Большие трубы-распылители (в том числе и прямоугольные) без сопел все большее распространение. Газоочистки, состоящие из труб как малых, так и больших сечений, обеспечивают равномерное распределение газа по трубам и при чистых соплах в трубах они весьма надежны в эксплуатации. Равномерное распределение газа по трубам определяется тем, что сопротивление тракта до труб несоизмеримо мало по сравнению с сопротивлением труб. Трубы-распылители с горловиной больших сечений применяются во всех схемах отвода конверторных газов.

В зависимости от способа отвода конверторных газов применяются трубы с регулируемым или нерегулируемым сечением горловины. Регулирование горловины осуществляют подвижным конусом, передвижными ИЛЕ, поворотными створками, передвижением одной из стен трубы-распылителя.

Сочетание труб-распылителей большого диаметра выполняющих функцию скруббера, и аппарата тонкой очистки применяется в газоочистках еще с раннего периода развития кислородно-конверторного способа. Фирма «Баумко» дополнила эту схему сепараторами влаги и пыли, устанавливаемыми после каждой ступени трубы Вентури.

Прямоугольные регулируемые трубы широко применяются. Практически все конверторы емкостью 300 т и более в отечественных кислородно-конверторных цехах оборудуются такими трубами, выполняемыми с регулируемыми створками; положение створок соответствует давлению над конвертором и, следовательно, количеству газов, выходящих из него. Прямоугольные трубы применяются в регулируемых системах отвода газов без дожигания. Схема газоочистки-конверторов емкостью 300 т с прямоугольными трубами-распылителями показана на рисунке 47. Газы, выходящие из конвертора 7, пройдя котел - охладитель 2 при температуре 1000 - 800°C, поступаю; в орошаемый газоход газоочистки 3. Вода к орошаемому газоходу поступает из оборотного цикла по трубам 11. Впрыскиваемая вода охлаждает газы до 250 - 300°C. К бункеру орошаемого газохода 4 примыкают две трубы Вентури 5, затем в бункере первой ступени 6 газ делает поворот и пройдя по газоходу 7,

поступает во вторую регулирующую трубу Вентури 8, затем после бункера 9 направляется во влагоотделитель 10 и к эксгаустеру 14. Отвод шлама из элементов газоочистки осуществляется через гидрозатвор 12.

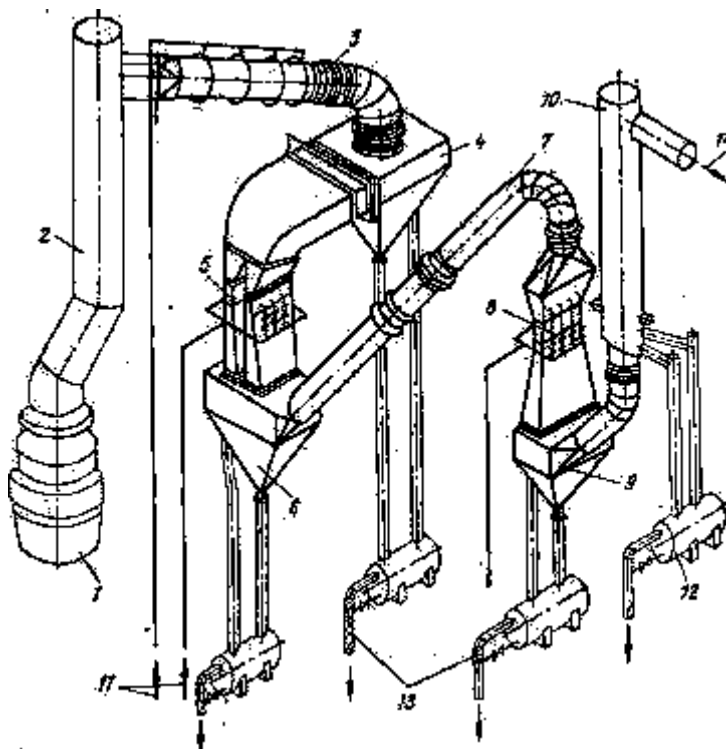


Рисунок 37- Схема газоочистки за конверторами емкостью 300 т с трубами Вентури

по отводящим линиям 13. Газоочистка рассчитана на пропускную способность газов из конвертора при подаче на продувку  $1500 \text{ м}^3/\text{мин}$  кислорода. Регулируемые трубы обладают рядом преимуществ по сравнению с нерегулируемыми трубами, так как обеспечивают: а) эффективную очистку отходящих газов независимо от колебаний их расхода и запыленности; б) поддержание необходимого давления-разрежения над конвертором; в) использование при пленочном орошении воды с повышенной концентрацией взвешенных веществ.

В горловине вертикальной прямоугольной регулируемой трубы Вентури размещены две плоские поворотные лопасти с горизонтальными осями вращения. Изменяя зазор между лопастями, меняют количество газа, пропускаемого через трубу.

Трубы-распылители (трубы Вентури) применяют, как уже указывалось, не только как основной аппарат газоочистки, но и как аппарат для предварительного охлаждения газов. Подаваемая вода

обеспечивает полное насыщение газов парами. В этих условиях трубы-распылители выполняют функции скруббера.

Остаточная запыленность очищенного газа, выходящего из газоочисток с большим сопротивлением потоку, зависит от суммарного сопротивления аппаратов газоочистки.

В установках, работающих по проектам Гипрогазоочистки, такая же остаточная запыленности достигается при более низком сопротивлении (10 - 11 кПа).

Трубы-распылители с небольшим сопротивлением движению, использующие эффект конденсации.

В трубах-распылителях с высоким сопротивлением движению потоки газа и воды перекрещиваются; при этом частицы пыли и воды соударяются, дробятся, пылинки смачиваются и при движении по диффузору трубы коагулируются. В трубах-распылителях с небольшим сопротивлением движению имеет место адиабатическое расширение, вызывающее состояние перенасыщения водяного пара. Такое состояние достигается быстро; затем происходит относительно медленная конденсация перенасыщенного водяного пара в многочисленных центрах конденсации, которыми являются пылевые частицы.

Использование эффекта конденсации для системы очистки разрабатывалось многими советскими инженерами. Конденсация паров влаги при определенных условиях может привести к значительному снижению остаточной концентрации пыли. Образование вокруг частиц пыли тонкой водяной-оболочки создает благоприятные условия для их коагуляции. Минимальное содержание пыли при прочих, равных условиях достигается после аппарата при температуре газов в нем, близкой к точке.

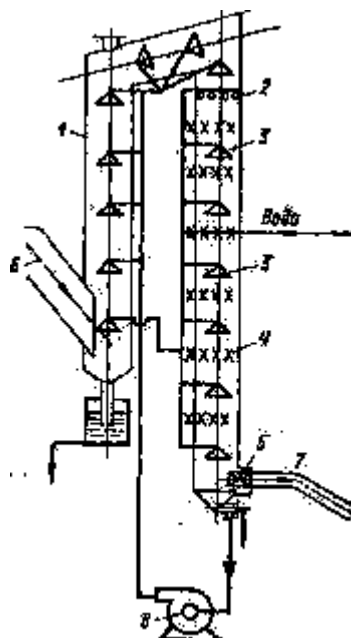
Представлены результаты исследований, из которых видно, что минимальная запыленность соответствует точке росы (70°C). Количество конденсируемой влаги  $Q$  (г/м<sup>3</sup>), при которой максимально используется конденсационный эффект, можно определить по формуле

$$Q = 6z_1(\sigma_{эф} + d_{cp}^3)/(d_{cp}^3 \rho \zeta)$$

Где  $z_1$  - концентрация пыли по массе на входе в трубу Вентури, г/м<sup>3</sup>;  $\rho$  - плотность частиц, кг/м<sup>3</sup>;  $\zeta$  - коэффициент, учитывающий количество влаги, образующейся в результате

спонтанной конденсации;  $\sigma_{эф}$  - оптимальная толщина пленки, равная 0,5 мм;  $d_{cp}$  — средний диаметр частиц.

До сих пор нет единого мнения о том, как получить и поддерживать чисто конденсационный эффект паров, влаги, а. газоочистке и о ее влиянии на качество очистки.



1 - скруббер; 2 - вращающиеся разбрызгиватели воды; 3 - стационарные разбрызгиватели; 4 - трубы-распылители; 5 - мульти-влагоотделители; 6 - вход газов; 7 - выход газов; 8 - насос повторного использования воды.

Рисунок 38- Схема конденсационной газоочистки конверторов емкостью 250 т

На рисунке 38 приведена схема газоочистки, работающая на принципе конденсации паров влаги. Температура воды после скруббера — около 70 °С, эффект конденсации используется при охлаждении газов до 40 °С. В качестве газоочистки использованы трубы Вентури небольшой длины с малой горловиной. Скорость газа в трубах до 40 м/с. Тонкораспыленная вода подается в газоочистку между каждыми двумя ярусами труб Вентури. Соппротивление всех ярусов системы газоочистки с трубами Вентури (при остаточной запыленности газа до 200 мг/м<sup>3</sup>) равна 1800 Па. Удельный расход электроэнергии на 1000 м<sup>3</sup> газа составляет 2—2,5 кВт-ч.

После труб-распылителей необходим сепаратор для удаления из потока скоагулировавшейся пыли. Трубы-распылители, использующие эффект конденсации, по мнению автора, в отличие



от труб-распылителей с высоким сопротивлением движению предъявляют более жесткие требования к работе в рамках расчетных режимов, и это обстоятельство ограничивает их применение, особенно в системах регулируемого отвода газов без дожигания. При отклонении от расчетных режимов по количеству газов и по тепловой нагрузке скорость и температура газа в газоочистке снижаются, ухудшается эффект конденсации. Так, на конверторах с отводом газов без дожигания по регулируемой схеме такие системы с конденсационным эффектом не обеспечивают необходимой очистки в кратковременные периоды (при  $a > 1$ ) в начале и конце продувки. Недостаток таких систем - большое количество труб малого диаметра и сложность эксплуатации, поэтому в последнее время их не устанавливают.

Скрубберы широко применяют в системах очистки газов при их температуре перед аппаратами выше  $600 - 200^{\circ}$ , однако эта температура весьма часто достигает  $1200 - 1400^{\circ}\text{C}$ . Скрубберы предназначены в основном для охлаждения газов, но в них происходит и отделение наиболее крупных фракций пыли. По принципу работы скрубберы делятся на водяные и испарительные. В первые подается большое количество воды, которая охлаждает газ и при этом нагревается не выше температуры мокрого термометра, во вторых, - впрыскиваемая вода практически полностью испаряется и охлаждает газы до температуры  $70 - 250^{\circ}\text{C}$ . После скруббера газы поступают в сухой электрофильтр, трубы распылители или другие системы газоочистки.

Скрубберы (имеются в виду только водяные безнасадочные) представляют собой полые цилиндры с бункером в нижней части. По высоте скруббера размещено несколько рядов сопел, обеспечивающих распыление воды, полностью перекрывающей все сечение.

Скруббер, представленный на рисунке 53, футерован с внутренней стороны. Вода подается вверх через форсунки, смонтированные в три ряда. Газ входит в нижнюю часть скруббера, поднимается вверх а на своем пути движения встречается с охлаждающей водой.

Скруббер, представленный на рисунке 53 не имеет футеровки. Сопловые аппараты размещены равномерно на высоте. Разбрызгивание воды происходит интенсивно по всему сечению, при этом интенсивнее происходит и охлаждение металлических стенок. Над бункером в скруббере размещаются решетки (с ячейкой

100x100 мм или других размеров). В пределах скруббера газ отмывается от известковой пыли, осаждающие крупные частицы шлака и металла; в последующие элементы газоочистки (трубы-распылители и другие) поступают газы, содержащие только плавилильную пыль. Скорость газа (отнесенная к его выходным параметрам) в скруббере 1,2 – 2 м/с. Некоторые авторы рекомендуют принимать более высокие скорости.

Коэффициент улавливания при интенсивности орошения 15—20 равен примерно 80% (расход воды около 1500 м<sup>3</sup>/ч; количество конверторных газов 70 000—100 000 м<sup>3</sup>/ч). В водяных противоточных скрубберах температура выходящей воды часто выше температуры охлажденного газа.

Прямоточные водяные скрубберы нашли применение и в газоотводящих трактах. В таких скрубберах температура выходящей воды ниже температуры газов, покидающих аппарат. Время пребывания газов в параллельно-прямоточных скрубберах может достигать 1,5 – 2,5 с при скорости 12—20 м/с; при этом газы охлаждаются с 800—900 до 60—80 °С. При интенсивности орошения больше 5—8 следует считаться с возможностью значительного выноса влаги из скруббера.

В нижней части скрубберов как противоточных, так и прямоточных накапливается большое количество пыли, поэтому для защиты шламоотводных труб от забивания над бункерами размещаются решетки (ячейками 100x100 мм и меньше). Удаление шлама над решеткой представляет трудную операцию. При конструировании аппарата и выполнении проекта его установки этой проблеме необходимо уделять соответствующее внимание.

Для облегчения работы при эксплуатации конверторного цеха Карагандинского металлургического комбината увеличили объем бункера, одна сторона которого выполнена в виде двери с электроприводом. Под бункер подается думпкар. При открывании двери содержимое бункера сползает в думпкар и отвозится.

П. И. Вернигора, обобщив работу 14 скрубберов, провел исследования скруббера диаметром 7,0 м, высотой 25,75 м, объемом 962 м<sup>3</sup> и установил, что значение объемного коэффициента теплопередачи  $K$  зависит от плотности орошения и с увеличением последней также возрастает.

Величину  $K$  рекомендуется определять по уравнению  $K = 8H_g^{1,3}$ , где  $H_g$  — плотность орошения, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>.

В другой работе утверждается, что на заводах успешно работают безнасадочные скрубберы, но их геометрические размеры завышены. Рекомендуются следующая зависимость между объемным коэффициентом теплопередачи  $[Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)]$ , массовой скоростью газа  $\rho_w [кг/(м^2 \cdot с)]$  и плотностью орошения:

$$K=1,163 \times (14,7 + 96,7 \lg H_e) \rho_w.$$

Осмотр работающих скрубберов показал, что на многих предприятиях расчетный расход воды значительно выше требуемого, что обусловлено завышением расчетных параметров газа. Авторы указывают, что эффективное орошение происходит в том случае, если давление воды перед брызгалами не менее 0,15 МПа. Испарительные скрубберы применяются большей частью как стабилизаторы перед сухими электрофильтрами. Чисто испарительные скрубберы в условиях конверторных цехов имеют тот недостаток, что на стенках скруббера могут появляться настыли.

Тепло (Вт), отводимое в испарительном скруббере от газа, определяется по формуле:

$$Q_g = V_0 (t'_g - t''_g)(c'_g - c''_g) + (d_2 - d_1)c_a$$

где  $V_0$  — объем газа на входе в скруббер,  $м^3/ч$ ;  $t'_g, t''_g$  — начальная и конечная температура газов,  $^\circ C$ ;  $c'_g, c''_g$  — соответственно начальная и конечная теплоемкость газа и пара,  $кДж/(м^3 \cdot ^\circ C)$ ;  $d_2, d_1$  — начальное и конечное влагосодержание газа,  $м^3/м^3$ .

Объемный коэффициент теплопередачи в скруббере  $K = Q_g / (V \Delta t)$  где  $V$  — активный объем скруббера,  $м^3$ ;  $\Delta t$  — средне логарифмическая разность температур газов и жидкости,  $^\circ C$ : Величина  $K$  колеблется от 400 до 1600  $кДж/(м^3 \cdot ^\circ C)$ .  
Дисковые распылители. Последние годы во многих отечественных цехах и в различных странах применяют дисковые распылители в качестве газоочистного аппарата для газов кислородных конверторов, отводимых в системах с полным дожиганием и без дожигания. Вся газоочистка состоит из трех - пяти элементов: дискового распылителя, сепаратора, влагоотделителя ; иногда

применяют два последовательно установленных дисковых аппарата с сепаратором между ними.

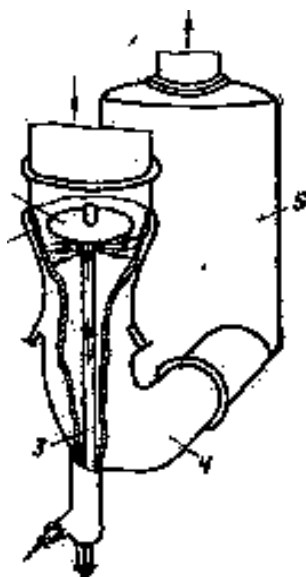


Рисунок 39. Схема дискового распылителя

На рисунке 39 представлена схема дискового распылителя. Газы движутся сверху вниз; по пути встречают неподвижный диск 1, отражаются, делают резкий поворот и с высокой скоростью проходят через кольцевую щель 2 между наружным корпусом и внутренним диском. Вода под обычным давлением подается по трубе 3, встречает диск, растекается по нему и стекает веером по периметру, пересекаясь с газом, движущимся в щели с большой скоростью. При этом происходят дробление частиц воды, смачивание пыли и ее коагуляция.

Диск размещен в конусообразной части газохода; он не вращается, но при регулируемых системах отвода газов перемещается вниз и вверх; при этом меняются ширина и площадь сечения щели, скорость потока, а следовательно, изменяется степень дробления и смачивания частиц. Смоченная и скоагулированная пыль выводится из газового потока в сепараторе 4 и влаго-отделителе 5. Напор воды при подходе к дисковому распылителю должен быть достаточен для подъема воды, прохода по диску и истечения с напором, обеспечивающим распыление (0,15—0,2 МПа).

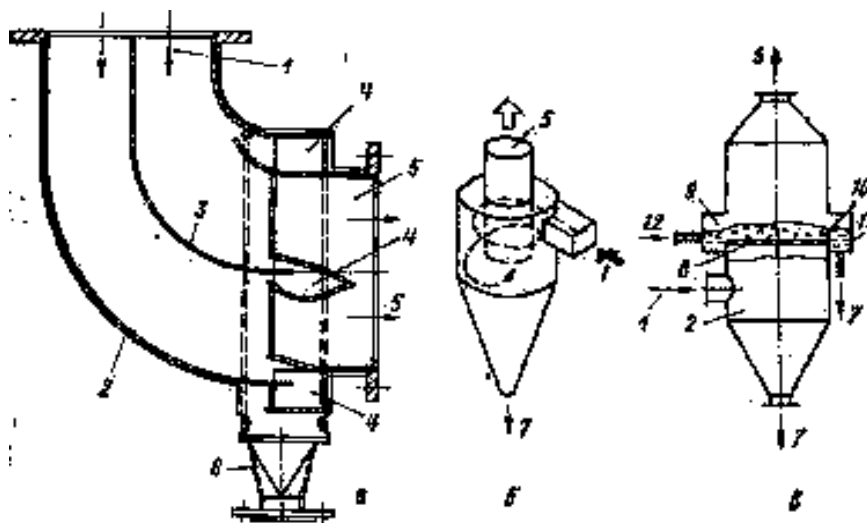
Требования к качеству воды, подводимой к дисковому распылителю значительно ниже, чем к качеству воды, направляемой к трубам-распылителям. Дисковые распылители

могут работать при содержании взвешенных частиц в воде 200 - 300 мг/кг и более.

Установки с дисковым распылителем смонтированы на многих заводах в схеме отвода газов без дожигания и с полным дожиганием. Дисковый распылитель имеет ряд преимуществ перед трубами-распылителями: он меньше забивается даже при очень плохом качестве воды, не имеет сопел и требует небольших эксплуатационных затрат. Работа дискового распылителя определяется в основном работой влагоотделителя, т. е. тем, в какой мере последний обеспечивает улавливание скоагулировавшейся пыли.

Сепараторы, циклоны, влагоотделители.

Для вывода из потока газов смоченных и скоагулировавшихся частиц служат различные аппараты: сепараторы, циклоны, пенные решетки и др. На рисунке 40 изображены принципиальные схемы таких аппаратов: а) сепаратор угловой; б) циклон или центробежный сепаратор; в) пенная решетка. Принцип работы сепаратора и циклона ясен из приведенного рисунка.



а - сепаратор Элбоу; б - циклон; в - пенная решетка; / - ввод запыленного газа; 2 - корпус; 3 - направляющий лист; 4 - кольцо для сбора шлама; 5 - выход очищенного газа; 6 - отвод шлама; 7 - отвод пыли; 8 - решетка; 9 - приемная коробка; 10 - порог; 11 - сливная коробка; 12 - подвод воды

Рисунок 40- Схемы влагоотделителей

По проекту Гипрогазоочистки пенные решетки устанавливают после труб Вентури. Опыт газоочистки конверторов показал, что пенные решетки являются хорошим влагоотделителем при скорости газов 3,5 м/с и потере напора 500 Па. При скорости

газов в 2 м/с пенная решетка работает неудовлетворительно. Во влагоотделителях целесообразно использовать принцип малых скоростей движения газов после труб-распылителей (до 1 - 1,5 м/с).

**Мокрые электрофилтры.**

Мокрые электрофилтры включают в газоотводящий тракт после котлов-утилизаторов и скрубберов. Через электрофилтр отводят продукты сгорания конверторных газов.

Среди современных установок выделяется газоотводящий тракт с мокрым электрофилтром на заводе в Хукингене (ФРГ) После котла-охладителя газы с температурой 1100 °С разделяются и поступают в два параллельных скруббера (слегка наклоненных к горизонту) и затем при 77 °С в вертикальный трубчатый электрофилтр. Филтр состоит- из 1000 труб. Трубы являются осадительными электродами; внутри каждой трубы имеется коронирующий электрод; рабочее напряжение электрофилтра составляет 40 кВ.

Шлам, осевший на внутренних поверхностях трубы, смывается водой, проходит циклон и оседает в отстойнике, а затем насосами подается непосредственно в барабанную мельницу аглофабрики. Система работает с коэффициентом избытка воздуха не ниже 0,75 (газ негорючий), т. е. практически по схеме с недожогом в пределах взрывобезопасности. Из двух работающих систем за конверторами емкостью 200 т с максимальной скоростью обезуглероживания 0,55% С/мин и выходом газов 100 000 м<sup>3</sup>/ч (продувка 18—20, плавка 40 мин) одна работает с дымососом, другая — на естественной тяге.

### **Контрольные вопросы:**

1. Что является основным элементом в мокрых газоочистках?
2. На сколько групп можно подразделить газоочистки, включающие трубы-распылители? Назовите их.
3. Назовите недостатки малых труб-распылителей.
4. Основные характеристики больших труб-распылителей.
5. Достоинство мокрых электрофилтров.

### **Список литературы:**

1. Старк С.Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. — М.: Металлургия, 1972. — 406с.

2. Денисов С.И. Улавливание и утилизация пыли и газов. – К.: Вища школа, 1992. – 333с.
3. Осипенко В.Д., Васильченко Н.М. Наладка и эксплуатация газоочистного оборудования в черной металлургии. М.: Металлургия, 1983. - 144 с.
4. Юдашкин М.Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии. М.: Металлургия, 1984. - 320 с.
5. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. Андоньев С.М., Зайцев Ю.С., Филиппьев О.В. Харьков, 1998. - 320 с.

## **Лекция №16. Сухая очистка конверторных газов.**

- 1. Сухие электрофильтры в системах с  $\alpha > 0,75$**
- 2. Сухие электрофильтры в системах  $0 < \alpha < 0,75$**
- 3. Тканевые фильтры**

Наибольшее распространение получила сухая очистка в электростатических фильтрах при отводе газов с полным дожиганием.

### **Сухие электрофильтры в системах с $\alpha > 0,75$**

На рисунке 41 представлен общий вид электростатического сухого фильтра Семибратского завода газоочистного оборудования. Электрофильтры — многопольные односекционные аппараты прямоугольной формы со стальным корпусом. Осадительные электроды изготовлены в виде С-образных свободно подвешенных пластинчатых элементов, нижние концы которых закреплены при помощи направляющих. Расстояние между плоскостями электродов 265 мм. Коронирующие электроды - ленты с выштампованными иголками, натянутые на трубчатые рамы. Электрофильтры подразделяют на три габаритные группы: УГ-1, УГ-2 и УГ-3. Каждая из этих групп включает несколько типоразмеров.

Условное обозначение типоразмера электрофильтра: У — унифицированный, Г — с горизонтальным ходом газа. Цифра после букв обозначает порядковый номер габаритной группы; следующая цифра — число электрических полей; последние цифры — площадь активного сечения, м<sup>2</sup>.

В зависимости от насыпной массы уловленной пыли и принятой схемы пылеулавливания корпус электрофильтра может быть изготовлен в различном исполнении, различающемся типом бункера (таблица 8 ).

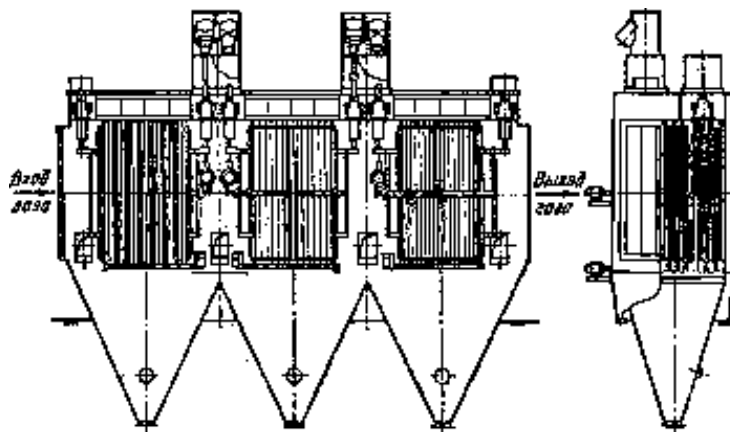


Рисунок 41- Сухой электростатический унифицированный горизонтальный фильтр типа УГ

Таблица 8-Типы корпусов электрофильтров

Исполнение	Тип бункера	Номер габарита	Насыпная масса пыли, $г/м^3$
1	Пирамидальный	1, 2, 3	$<1,5$
2	-	1, 2, 3	1,5
3	Щелевидный	1, 2	$<1,5$

Электрофильтры первого и второго габаритов можно устанавливать вне здания с устройством шатра над :крышкой и механизмами встряхивания электродов. Шатер опирается на корпус электрофильтра. Электрофильтры третьего габарита устанавливают вне здания без шатра.

Электрофильтры Семибратского завода получили большое распространение. Температура очищаемых газов до  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , сопротивление фильтра около 150 Па, потребляемая энергия  $0,3\text{ кВт}\cdot\text{ч}/1000\text{ м}^3$ , коэффициент улавливания пыли 99,8%.

На заводе в Консете с конверторами емкостью 100 т работает трехпольный горизонтальный электрофильтр. Для удаления пыли, осаждаемой на осадительных электродах, используют принцип магнитного импульса; кроме того, на подвесной раме укреплены ударные молоточки, которые



сбивают пыль. Коронирующие электроды очищают от пыли электромагнитным вибратором. Эффективность очистки фильтров зависит от качества работы молоточков и вибраторов.

Сухие электрофильтры работают устойчиво при определенной температуре и влажности входящего газа. Для обеспечения этих условий перед сухим электрофильтром устанавливается стабилизатор-башня высотой до 20 м, диаметром 4—5 м, оборудованная соплами для тонкого распыления воды. Количество впрыскиваемой воды регулируется автоматически по температуре газов на выходе из сухого фильтра, равной 140 - 160 °С.

Ниже приведены рекомендуемые параметры при работе сухих электрофильтров:

Скорость газа, м/с	0,8 – 4,0
Удельная поверхность осадительных электродов на 1000 $\text{м}^3/\text{ч}$ , $\text{м}^2$	2 – 5 30 – 300
Удельная мощность короны, на 1000 $\text{м}^3/\text{ч}$ , Вт	0,5 – 1
Потребляемая энергия, кВт·ч/1000 $\text{м}^3$	20 – 100
Сопротивление, Па	<1000
фильтра	1 – 5
стабилизатора	<1,5
Число полей	95 – 99,9
Давление воды перед стабилизатором, МПа	
Коэффициент улавливания пыли, %	

Корпуса электрофильтров рассчитываются на работу под разрежением от 3000 до 15 000 Па при заполнении бункеров с насыпной массой от 1500 до 3500 кг/м<sup>3</sup>.

Такие электростатические фильтры работают в системах отвода газов из конверторов при  $\alpha > 0,75$ , т. е в системах с полным дожиганием и недожогом в пределах взрывоопасности.

Сухие электрофильтры в системах  $0 < \alpha < 0,75$

В 1979 г. в системах отвода газов  $0 < \alpha < 0,75$  работали восемь электрофильтров. Первые фильтры были, введены в эксплуатацию на заводе «Зальцгиттер» в 1969 и 1972 гг. Характеристика трактов с сухими электрофильтрами представлена в табл. 9 (на начало 1980 г.).

Практически в крупных промышленных газоотводящих трактах не может быть осуществлено идеальное тампонное течение. Еще до того, как содержание кислорода в газах с началом продувки в течение первой минуты снизится с 21 до 0%, в газоотводящем тракте уже появляется и окись углерода.

Таблица 9-Сухие электрофилтры

Фирмы	Емкость конвертора, т	$\alpha$	Количество газов, м <sup>3</sup> /ч	Число агрегатов	Дутье кислородное
«Зальцгиттер»	200	0,2	110 000— —135 000	3	Верхнее
«Рурорт» . . . .	130	<0,7	125 000	1	»
«Арбед» . . . .	100	<0,6	135 000	2	»
«Ньювес-Майсонс» . . . .	130	<0,3	135 000	1	Донное

Однако при быстрой скорости обезуглероживания снижение содержания кислорода с 21 до 0% может происходить не за одну минуту, а за несколько секунд. В отходящих газах при этом может присутствовать и кислород, и окись углерода. Чем быстрее меняется скорость обезуглероживания в начале продувки, тем больше продолжительность совместного наличия в газах  $O_2$  и CO.

При прохождении последовательно через пылеулавливающие устройства кислородсодержащих продуктов сгорания и газов, содержащих окись углерода, в связи с наличием мертвых зон, неравномерностью выхода газов из конвертора, неравномерностью потока и другими факторами может образоваться взрывоопасная газовая смесь. Поэтому обычный сухой прямоугольный фильтр с пылевыми бункерами не удовлетворяет условиям техники безопасности (много мертвых зон). Более приемлемыми оказались трубчатые электрофилтры. В круглом газоходе газы проходят через систему последовательно и при этом предотвращается смешивание газов различного состава.

Созданию промышленной установки предшествовали лабораторные исследования. Были изучены условия, исключющие застойные зоны, условия прочности при возможных хлопках, а также условия достижения требуемой очистки.

Опыт эксплуатации трактов показывает, что независимо от применяемых способов очистки (сухих или мокрых) в аварийных случаях нельзя исключить хлопки. В связи с этим в описываемых сухих электрофилтрах расчетный перепад давления принят 0,2 МПа; дополнительно на корпусе фильтра предусмотрены предохранительные клапаны. Площадь предохранительных клапанов (м<sup>2</sup>) определяют по формуле

$$F_2 = \sqrt[3]{V_1/V_2} (F_1 F_2) / V_1$$

где  $F_2$  — разгрузочное сечение промышленной установки;  $V_1$ ,  $F_1$  - объем и сечение сосуда лабораторной установки;  $V_2$  - объем сосуда промышленной установки.

При хлопке, чем больше емкость сосуда, тем меньше давление взрыва. Это следует из результатов лабораторных опытов.

В таблице 10 приведена характеристика условий опытов.

Таблица 10-Зависимость давления взрыва от емкости сосуда  
( $dp/d\tau$ )<sub>max</sub>

Кривая	Емкость сосуда	Абсолютное давление, МПа	Изменение давления, МПа/с
А	20 м <sup>3</sup>	0,7	2,7
В	1 м <sup>3</sup>	0,7	8,6
С	1 л	0,7	72

Исследования проводились на газовой смеси, содержащей 70% метана и 30% водорода. Результаты исследований показали, что при больших объемах повышение давления от хлопков происходит медленнее и имеется достаточно времени для снижения давления.

Несущими элементами электрофильтра круглой формы являются кольца 1, между которыми помещены обечайки 2, патрубки входа 3 и выхода газов 4, сочлененные с коническими днищами 5. Отделенная пыль через отверстия 6 в днище корпуса поступает на лотковый цепной транспортер. Предохранительные пружинные клапаны 7 размещены на днищах. Электрофильтр разделен на три последовательные зоны очистки.

Очистка коронирующих и осадительных электродов происходит с помощью обстукивающих устройств. Каждая зона имеет преобразовательную установку постоянного тока высокого напряжения. Высокое напряжение 45 - 60 кВ, плотность тока 0,3—0,5 мА/м<sup>2</sup> площади осаждения.

Эффективность электрофильтров по отделению пыли определяют по формуле  $\eta = (1 - e^{-x})100$ ;

$$x = f(vw)$$

где  $v$  — скорость газа;  $w$  — скорость перемещения газа в электрическом поле.

Высокому к. п. д. фильтра (.99,9%) сопутствует увлажнение газов перед фильтром. Для быстрого увлажнения при относительно низких температурах газов в отдельных случаях вдувают пар. Удельный расход; электроэнергии 1,85 кВт-ч на 1 т жидкой стали; расход: воды 0,08 т на 1 т стали.

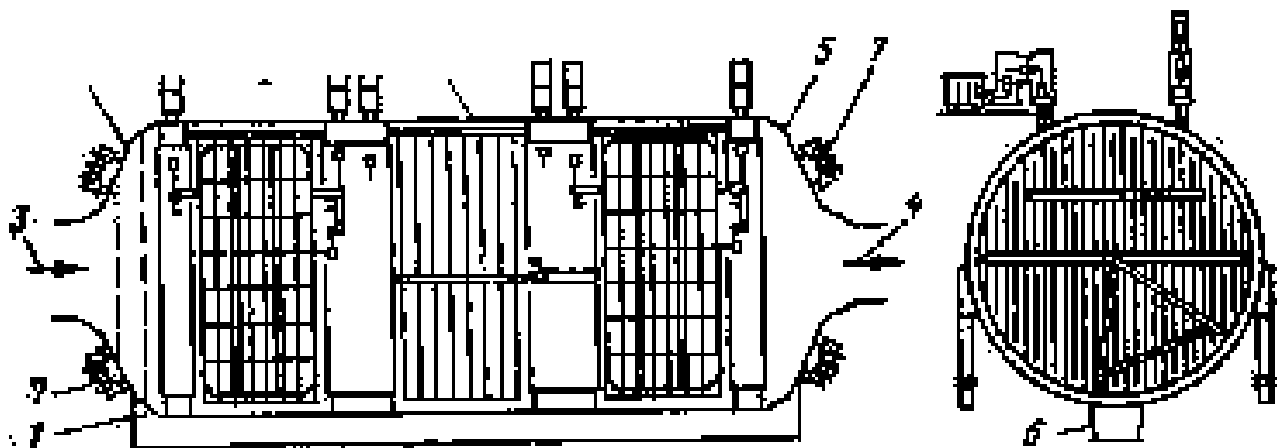


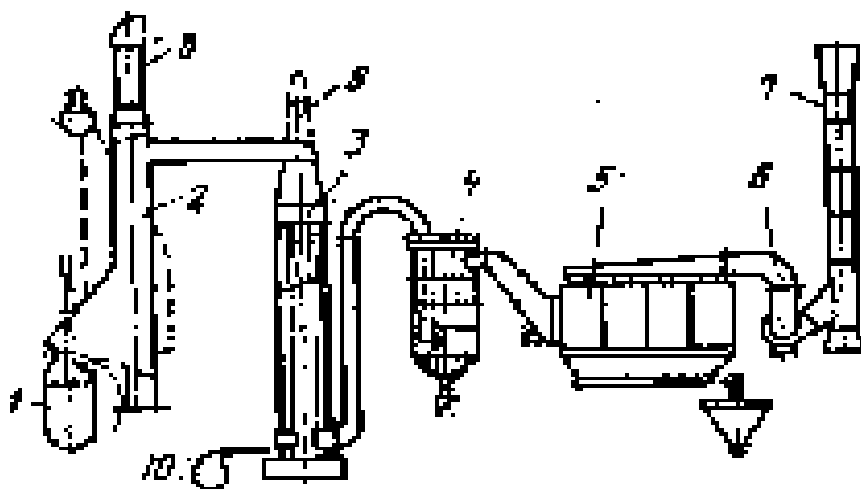
Рисунок 42- Общий вид сухого электростатического фильтра работающего в схемах с  $0 < \alpha < 0,75$

Уловленную пыль используют главным образом на аглофабрике. Пыль собирают в башне, емкость которой равна суточному выходу. Затем в сухом виде или с небольшой добавкой воды транспортируют в смесительно-окомковательные установки.

Сухие электрофильтры веретенообразной формы намечено установить на заводе «Ньювес-Майсонс» (Франция). Взрывоопасная смесь исключается продувкой тракта газовым тампоном. Авторы отмечают, что по мере роста стоимости энергии и ужесточении требований к охране атмосферы эффективность сухих фильтров будет возрастать. При сухой очистке отсутствует сложное водное и шламовое хозяйство.

Сопротивление сухих электрофильтров невелико, поэтому некоторые заводы отдают предпочтение сухой очистке. Однако сухие электрофильтры имеют более сложное оборудование, чем при мокрой очистке, и требуют большей квалификации и внимания эксплуатационного персонала.

Тканевые фильтры. Фильтры этого типа находят широкое применение в черной металлургии. Известно несколько установок (рисунок 43), используемых для очистки конверторных газов. Фильтрацией в этом случае требует тщательного подбора фильтрующей ткани.



1 - конвертор; 2 - охлаждаемый камин; 3 - аккумулятор; 4 - скруббер; 5 - тканевый фильтр; 6 - дымосос; 7 - дымовая труба; 5, 9 - клапаны; 10 - вентилятор

Рисунок 43- Общий вид газоотводящего тракта с тканевыми фильтрами

Конверторная пыль, неоднородная по химическому составу, образует на ткани слой, через поры которого проникает только газ. Этот слой способствует дальнейшей коагуляции частиц. При отсутствии такого слоя частицы будут проходить через ткань, поры которой в 50—100 раз больше размера частиц, поэтому газы не будут очищаться.

Обычные ткани имеют много недостатков (короткие волокна, закрывающие поры и др.), поэтому ткани из натуральных волокон уступают тканям из искусственных, которые находят все большее применение в качестве фильтровальных. Температура газов перед рукавными тканевыми фильтрами должна поддерживаться с минимальными отклонениями в интервале 100—110°C. Имеются волокна (стекловолокно с содержанием силикона или графита), допускающие более высокую температуру газов (275—300°C). Ведутся разработки кремнеглиноземистых волокон, которые могут работать при 800—900 °C. Различают ткани с остроконечным ворсом и гладкие, типа фетра.

В тканевых фильтрах конверторного производства применяют тергаль. Для поддержания требуемой температуры газов перед тканевым фильтром их пропускают через испарительный скруббер или подключают термостаты, регулирующие подачу подогретого дополнительного воздуха. На одной из установок имеется три термостата; два из них включают подсос воздуха при

температурах 125 и 135 °С. При достижении предельной температуры для ткани 145 °С третий термостат подает сигнал на подъем фурмы. Содержание пыли после тканевого фильтра (50-т конвертора на заводе в Эль-Ходжар в Алжире) составляет 20 мг/м<sup>3</sup>. Очистка тканевых фильтров осуществляется встряхиванием. При работе в системах с полным сжиганием газов встряхивание и переключение секций происходит автоматически в любой момент продувки; в схемах с  $\alpha < 1$  эти операции осуществляют после завершения продувки. Содержание пыли в газах после тканевых фильтров составляет менее 10 мг/м<sup>3</sup>. Недостаток этих фильтров — высокий расход электроэнергии; 30 кВт·ч на 1 т жидкой стали. Текущий ремонт фильтров представляет собой трудоемкую операцию. Одно из направлений упрощения\* этой операции — применение крупномасштабных рукавов диаметром 250—300 мм и высотой 6—10 м, поверхность одного элемента которых составляет 6,5—10 м<sup>2</sup>. Тканевые фильтры komponуют также в виде панелей,, блоков, кассет, замена которых может быть выполнена очень быстро.

### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое электрофильтры?
2. На сколько групп подразделяют электрофильтры?
3. Как устанавливают электрофильтры первого и второго габарита?
4. Какие параметры необходимы при работе электрофильтров?
5. В каких годах были введены в эксплуатацию первые фильтры?
6. Какие фильтры находят широкое применение в черной металлургии?
7. Какие ткани используют для фильтров?

### **Список литературы:**

1. Юдашкин М.Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии. М.: Металлургия, 1984. - 320 с.
2. Осипенко В.Д., Васильченко Н.М. Наладка и эксплуатация газоочистного оборудования в черной металлургии. М.: Металлургия, 1983. - 144 с.
3. Очистка технологических газов в черной металлургии. Толочко А.И., Филиппов В.И., Филиппев О.В. М.: Металлургия, 1982. -280 с.

## Лекция №17. Обратные циклы газоочистки.

### 1. Обратные циклы газоочистки

При проектировании обратных циклов прежде всего необходимо решить следующие задачи: 1) определить минимальное количество циркулирующей воды при заданной интенсивности продувки конвертора; 2) установить подачу такого качества воды, при котором обеспечивается длительная бесперебойная работа аппаратов газоочистки.

Минимальное количество циркулирующей воды возможно при максимальном ее подогреве в период наибольшего обезуглероживания. Между кислородными продувками подачу воды в систему газоочистки сокращают или полностью ее отключают. Для этого прикрывают задвижки или периодически отключают насосы. Максимальный подогрев воды в обратном цикле можно рассчитать по формуле

$$\Delta t = t''_{\text{в}} - t'_{\text{в}} = Q_{\text{max}} / (10^3 G_{\text{ц}} c),$$

где  $Q_{\text{max}}$  — максимальное количество тепла, отдаваемого газами в системе газоочистки, кДж;  $G_{\text{ц}}$  — количество воды, циркулирующей в системе газоочистки, т/ч;  $t''_{\text{в}}$  — температура воды на входе в газоочистку и выходе из нее, °C;  $t'_{\text{в}}$  — нагрев воды в газоочистке, °C;  $c$  — удельная теплоемкость, Дж/(кг°C).

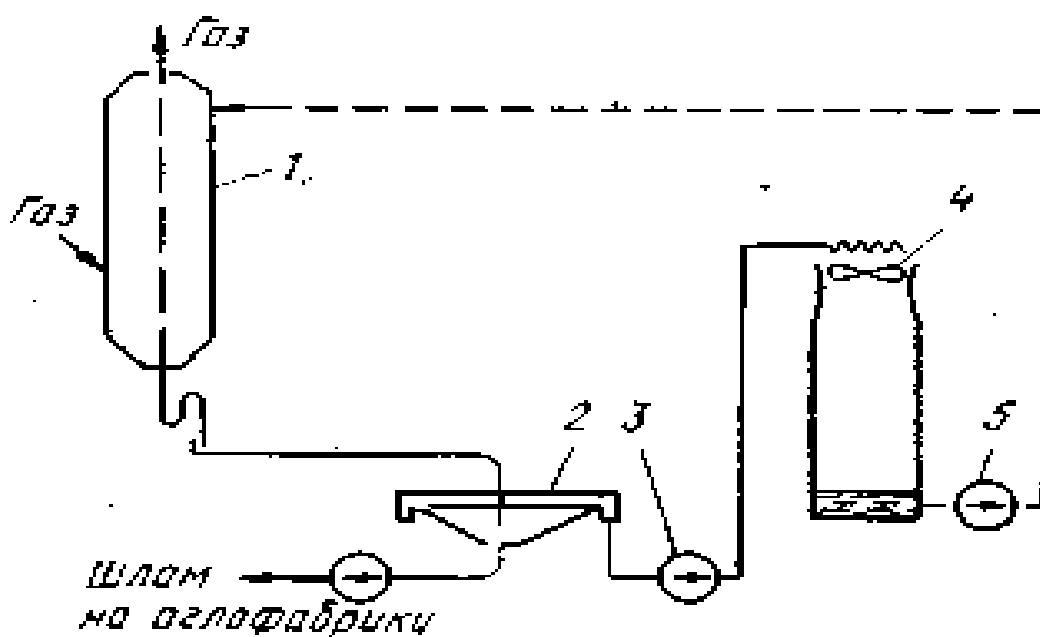
В течение кислородной продувки вода после мокрой газоочистки выходит с переменной температурой; большей частью эта температура ниже максимально расчетной. В периоды между продувками вода не нагревается. Даже в периоды максимальных тепловых нагрузок вода после газоочистки смешивается с более холодной водой в системе и поступает к охладителям с температурой значительно ниже максимальной.

При емкости системы  $G_{\text{с}}$ , температуре воды в ней  $t_{\text{с}}$  и количестве циркулирующей воды  $O_{\text{ц}}$  температуры перед охладителями (градирнями и другими устройствами) рассчитывают по формуле (без учета потерь системой)

$$t_{\text{в}} = (G_{\text{ц}} t''_{\text{в}} + G_{\text{с}} t_{\text{с}}) / (G_{\text{ц}} + G_{\text{с}}).$$

На рисунке 44 приведены кривые изменения температуры воды. Снижение температуры воды после газоочистки облегчает работу охладителей в схеме оборотного цикла. Схемы и конструкции систем оборотных циклов многообразны. Одна из схем приведена на рисунке 45. По ходу кислородной продувки меняются состав и количество взвесей в сточной воде. Согласно замерам по ходу продувки содержание взвешенных частиц следующее:

Время продувки, мин.	3	6	9	12	15	18	21
Содержание взвеси в воде, мг/л	410	1040	1790	2700	3900	4600	2100



1 – свежей воды (подпитка системы); 2, 4 – воды, входящих в систему газоочистки и выходящей из нее; 3 – воды перед охлаждением в оборотном цикле с учетом усреднения температуры в емкостях системы

Рисунок 44- Графики температуры воды

Вода после газоочистки содержит окислы железа, кальция, марганца, извести и другие элементы, а также газы — двуокись и окись углерода. Содержание газов в воде зависит от состава газов, проходящих через газоочистку. В системах с дожиганием вода насыщена двуокисью углерода, в системах без дожигания — окисью углерода.

Растворимость газов зависит от температуры воды, парциального давления и вида газа. Растворимость газов



определяется коэффициентом растворимости  $r$  или коэффициентами абсорбции  $a$ .



1 – отстойник радиальный; 2 – насосная осветленной воды; 3 – охладитель (градирня); 4 – насосная; 5 – газоочистка

Рисунок 45- Схема оборотной системы

Коэффициентом растворимости  $r$  называют число объемов газа (без приведения к нормальным условиям), растворившихся в одном объеме воды. Коэффициентом абсорбции,  $a$  называют число объемов газа, приведенного к нормальным условиям, которое поглощается одним объемом воды при парциальном давлении газа, равном 1,01 МПа. Значения коэффициентов растворимости (абсорбции) газов в воде приведены в табл. 11.

Атмосферный азот содержит 98,815%N<sub>2</sub> и 1,185%Ar. Щелочность и кислотность сточных вод для разных установок различны.

Таблица 11-Коэффициент абсорбции  $\alpha$  газов водой при 1,01 МПа, мг/кг

Температура, °C	Азот атмосферный	Воздух	Кислород	Водород	Окись углерода	Дву-окись углерода	Дву-окись серы
10	0,01861	0,02268	0,03802	0,01955	0,02816	1,194	56,647
20	0,01545	0,01871	0,03103	0,01819	0,02319	0,878	39,374
25	0,01434	0,01727	0,02831	0,01754	0,02142	0,759	32,786
30	0,01342	0,01607	0,02608	0,01699	0,01998	0,655	27,161
35	0,01256	0,01504	0,02440	0,01666	0,01877	0,592	22,489
40	0,01184	0,01415	0,02306	0,01644	0,01775	0,530	18,766
45	0,01130	0,01352	0,02187	0,01624	0,01690	0,479	—
50	0,01088	0,01298	0,02090	0,01608	0,01615	0,436	—
60	0,01023	0,01216	0,01946	0,01600	0,01488	0,359	—
70	0,00977	0,01156	0,01833	—	0,01440	—	—
80	0,00958	0,01126	0,01761	—	0,01430	—	—

На рисунке 46 показано изменение щелочности воды в оборотных системах мокрых газоочисток для трех различных цехов.

В цехе А после каждой продувки щелочность воды снижалась; для предотвращения кислотной коррозии

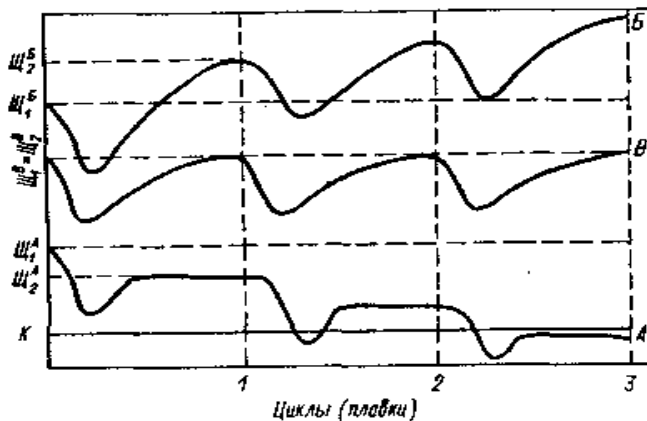


Рисунок 46- Изменение щелочности воды в оборотных системах в течение плавок (Щ<sub>1</sub> и Щ<sub>2</sub> — щелочность в начале и в конце продувки)

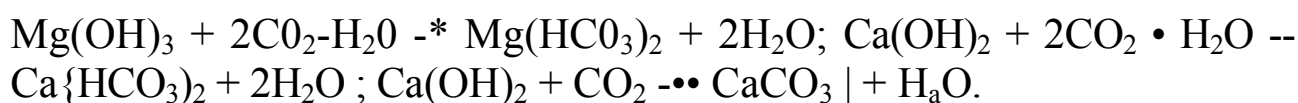
оборотную воду подщелачивали известью. В течение одной продувки щелочность воды при выплавке стали понижалась до 0,8 мг-экв/л, а при работе на полупродукт — до 0,5 мг-экв/л. При подтопке котла-охлаждителя коксовым газом, содержащим серу, между продувками щелочность уменьшалась на 0,15 мг-экв/л. В системах с полным сжиганием щелочность воды была достаточной (не менее 3, мг-экв/л) для нейтрализации загрязняющих кислых компонентов. Обратные циклы этого цеха необходимо корректировать для обезвреживания кислых стоков. Рекомендуется вводить известь в тракт после газоочистки (до отстойника). При этом протекают следующие реакции:  $\text{CaO} + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ , а также  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ , т. е. получаются кальциевые соли, плохо растворимые в воде.

В цехе Б щелочные и кислые стоки балансируются и дополнительной обработки воды не требуется. В цехе В при отсутствии обработки воды наблюдается неуклонный рост щелочности. На этой установке при рН сточных вод 7—8 выделения осадков не наблюдалось; при рН около 10 осадки начали выпадать быстро и при рН = 12 горловины труб-распылителей зарастали в течение 20 плавок (диаметр их

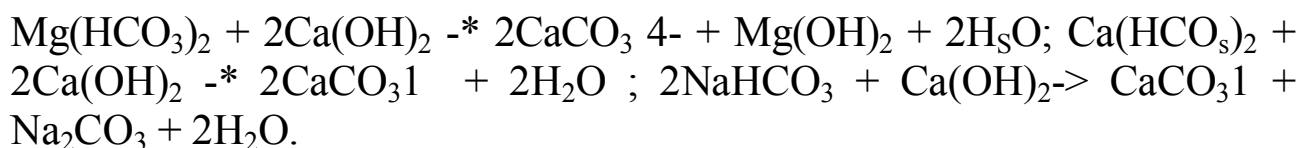
уменьшался с 90 до 70 мм). В этом случае требуется уменьшить время контакта конверторных газов с известью (например, можно подавать основное количество извести в шихту конвертора до начала продувки) и осуществлять подкисление воды.

Возможность стабилизации воды должна предусматриваться во всех проектах оборотных циклов, так как предварительно оценить влияние и взаимодействие всех компонентов процесса нельзя.

В системах с полным дожиганием и большим количеством свободной двуокиси углерода, последняя вступает в реакцию с ионами кальция, магния, двухвалентным железом (FeO), образуя бикарбонаты:



В период низкого содержания углекислого газа протекают реакции:



При этом происходит загрязнение тракта оборотного цикла соединениями кальция и магния. Свободная двуокись углерода, как известно, вызывает коррозию металла. Водородный показатель газа, равный 6,0—7,0, может повлечь за собой коррозию скруббера.

В системах с отводом газов при а 1 (без дожигания, частичное сжигание, недожог) необходимо удалять окись углерода из воды, чтобы обеспечить безопасную работу обслуживающего персонала. В системах без дожигания содержание окиси углерода в газах больше, чем при других способах. В схеме оборотного цикла Карагандинского металлургического комбината, например, предусмотрена двойная дегазация воды: а) перелив тонким слоем из закрытой трубы в канал на выходе из цеха (на этом участке сделана вытяжная труба); б) вытяжка газов из камеры, распределяющей воду по отстойникам. Ниже приведено содержание окиси углерода в воде по тракту, мг/л:

После скруббера..... 1800

На выходе из цеха (после перелива) . . . . 1300

После распределительной камеры	700
Над отстойниками (иустителями)	Нет
В отстойниках .....	80

На одном из заводов для очистки 300 м<sup>3</sup>/ч воды работают четыре гравийных фильтра диаметром 2,0 м. Они обеспечивают очистку воды до содержания взвесей 50 мг/л; при этом сопла труб-распылителей всегда чисты. В больших цехах такие фильтры усложняют установку, поэтому следует использовать и другие методы очистки (магнитное поле, уменьшение нагрузки на радиальный отстойник и т. д.).

Исследование шламов конверторного цеха «Криворожстали» показало, что установка намагничивающих устройств способствует интенсификации осветления сточных вод мокрых газоочисток.

Метод стабилизации воды выбирается в зависимости от количества гидратной щелочи. Известны предложения по обработке воды силикатным раствором. Растворимость извести при этом снижается в результате адсорбции силикатного реагента на поверхности поступающих в воду частиц извести и нейтрализации воды у поверхности известковых частиц. Силикатный реагент снижает также адгезионную способность кристаллов карбоната кальция, образующихся из извести, растворившейся в воде.

### **Контрольные вопросы:**

1. Какие задачи необходимо решить при проектировании оборотных циклов?
2. По какой формуле можно рассчитать максимальный подогрев воды в оборотном цикле?
3. Какие элементы содержит вода после газоочистки?

### **Список литературы:**

1. Очистка технологических газов в черной металлургии. Толочко А.И., Филиппов В.И., Филиппьев О.В. М.: Металлургия, 1982. -280 с.
2. Осипенко В.Д., Васильченко Н.М. Наладка и эксплуатация газоочистного оборудования в черной металлургии. М.: Металлургия, 1983. - 144 с.
3. Андоньев С.М. и др. Пылегазовые выбросы на предприятиях черной металлургии. – Харьков, 1998. – 346с.

## **Лекция №18. Очистка сточных вод конвертерного производства.**

### **1. Стоки конвертерного производства**

### **2. Отходы конвертерного производства**

Вода используется для охлаждения отдельных элементов оборудования, фурм, установок непрерывной разливки стали, обеспечения работы КУ, хозяйственных бытовых нужд.

Кроме хозяйственных бытовых нужд остальные места использования воды могут быть переведены на замкнутый цикл.

При замкнутом цикле принимается, что расход свежей воды составляет 1.5.% от всей оборотной воды.

В нашем конвертерном пр-ве охлаждение и КУ работают на технической воде в замкнутом цикле. Объем потребляемой воды примерно 10% от суммарного объема, остальные 90% поступают на обеспечение работы газоочистки.

Стоки газоочистки – основные стоки конвертерного производства. Как и стоки любого сталеплавильного производства, они плохо очищаются. Мелкая сталеплавильная пыль плохо осаждается. Шлам конвертерных цехов годами стоит, не осветляясь (в виде пульпы). Мал и слой отстоянной воды. Поэтому использование инерционных способов отстоя шлама не дает возможности металлургическим предприятиям работать на замкнутой системе очистки газов.

На наших металлургических предприятиях работают в открытых системах водоснабжения газоочисток (прямоточной). Каждый раз на газоочистку подают чистую воду (1,2-1.5 л на 1 т газа). Длительное время на Западе использовали мокрую газоочистку и имели подобные проблемы. В настоящее время используется сухой способ очистки газов в ЭФ. В случае использования скруббера жидкий шлам сгущается в гидроциклоне, что повышает время сгущения шлама на порядок.

Такая система позволяет работать на замкнутом водоснабжении. При этом эксплуатация ЭФ для очистки КГ отличается низкими энергозатратами, но высокими капитальными затратами, которые могут быть окупаться путем экономии энергии и воды.

Лучше всего перерабатывать брикеты в вагранках. Длительная работа вагранок с добавками брикетов дает возможность повышать

содержание цинка до 30 %. Полученный в результате шлам передается на предприятия цветной металлургии в качестве сырья. Это самая эффективная переработка. На наших предприятиях конвертерные и мартеновские шламы не используются.

Количество сточных вод от газоочистки одного 100—130т конвертера составляет 200 - 300 м<sup>3</sup>/ч, а 250—300т конвертора — 2000 м<sup>3</sup>/ч. Конверторный цех состоит из 2—3 агрегатов. Поэтому количество сточных вод от газоочисток современного конверторного цеха достигает 4000—6000 м<sup>3</sup>/ч.

На тех заводах, где величина продувки систем оборотного водоснабжения сравнительно невелика, общее солесодержание оборотной воды достигает 5 г/л. Химический состав воды на ряде заводов свидетельствует о необходимости ведения стабилизационной обработки с целью предотвращения плотных солевых (преимущественно карбонатных) отложений. Методы предотвращения солевых отложений изложены.

Исследования показали, что нет прямой зависимости скорости коррозии, как от величины общего солесодержания, так и от концентрации отдельных компонентов. Однако установлено, что наличие сульфатов способствует торможению процесса коррозии. Таким образом, для практически замкнутых оборотных систем водоснабжения величина концентрации хлоридов и сульфатов в рассматриваемых пределах не должна нормироваться как с точки зрения процессов коррозии, так и образования солевых отложений.

Процесс осаждения взвешенных веществ сточных вод газоочисток конверторов характеризуется кривыми, приведенными на рисунке 47. Высота слоя отстаивания 180 мм.

В настоящее время очистка сточных вод газоочисток конверторов осуществляется, как правило, в радиальных отстойниках с удельной гидравлической нагрузкой до 1 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>\*ч).

Проведенные во ВНИПИ - черметэнергоочистке работы позволяют рекомендовать для очистки этих сточных вод открытые гидроциклоны диаметром 6—8 м с нагрузкой до 14 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>\*ч) при коагуляции, флокуляторы диаметром 12 м с нагрузкой до 7—8 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>\*ч) или отстойники с камерой флокуляции с нагрузкой до 5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>\*ч). Для газоочисток конверторных цехов со 100—1,30-т агрегатами и расходом сточных вод 500—900 м<sup>3</sup>/ч рекомендуется применять открытые гидроциклоны, а для большегрузных конверторов,

работающих по режиму отвода газов без дожигания СО — отстойники с камерой флоккуляции.

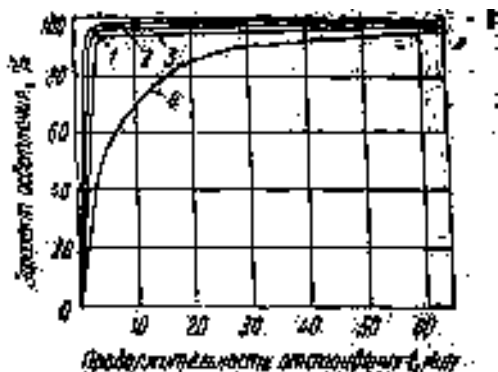
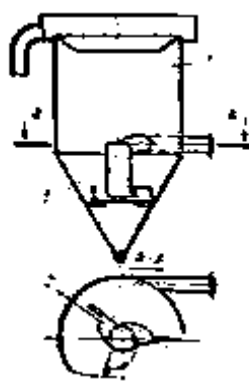


Рисунок 47- Кинетика осаждения взвеси в сточных водах газоочисток конверторов при начальной концентрации, г/л: 1 — 14; 2 — 3,7; 3 — 1,6; 4 — 0,8

При выборе схемы очистных сооружений следует учитывать, что в связи с интенсификацией процесса выплавки стали в результате увеличенной продувки ванн кислородом из конверторов выносятся значительное количество частиц пыли весьма крупных размеров (более 500 мкм). И поэтому в системе необходимо предусматривать предварительное улавливание крупных частиц из сточных вод перед их поступлением на основные очистные сооружения.

Открытый гидроциклон. Для очистки сточных вод газоочисток конверторных цехов применен открытый гидроциклон (см. рисунок 48), а также гидроциклон с устройством для циркуляции осадка (рисунок 49).



1 — корпус; 2 — завихритель; 3 — устройств для подъема осадка

Рисунок 48- Гидроциклон с устройством для циркуляции осадка

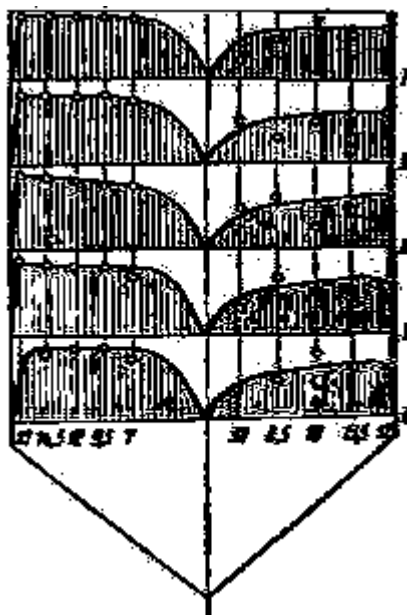


Рисунок 49- Распределение тангенциальных скоростей в гидроциклоне

Открытые гидроциклоны по принципу работы существенно отличаются от напорных. Ввиду малых скоростей движения воды и больших размеров аппарата центробежные силы играют незначительную роль в процессе осветления. Во многих случаях открытые гидроциклоны работают подобно вертикальным отстойникам.

Основным фактором способствующим задерживанию взвеси, является коагуляция частиц в условиях вращательно-поступательного движения. Как показали эксперименты, выпадение взвешенных веществ из сточных вод происходит быстрее при медленном вращении отстаиваемой жидкости. Кроме того, вращательное движение способствует снижению турбулентности и уменьшению переноса частиц из нижних слоев в верхние. В связи с этим открытый гидроциклон более эффективный, чем близкий к нему по конструкции вертикальный отстойник.

В нижней части открытого гидроциклона происходит быстрое укрупнение частиц за счет кинетической и градиентной коагуляции. Однако размеры их малы. По мере перемещения вверх градиенты скоростей уменьшаются и происходит дальнейшее укрупнение частиц. Одновременно расширяется поток воды (рисунок 50) и уменьшаются вертикальные скорости, что препятствует выносу взвеси и приводит к осветлению воды. Расширение потока способствует наличие диафрагмы в верхней



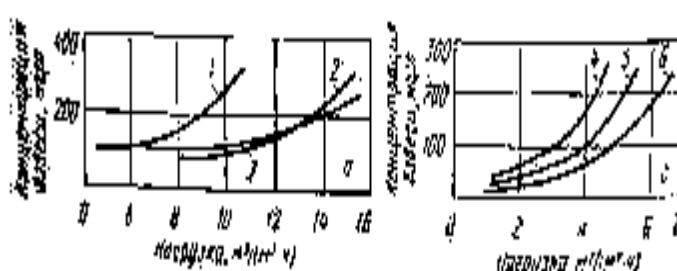
части гидроциклона. Восходящий поток воды можно условно разбить на основной (между лучами  $y_0$  и  $y_1$ ) и присоединенный (между лучами  $y_1$  и  $y_2$ ). Основной поток поступает на перелив, а присоединенный возвращается в нижнюю часть гидроциклона. Более крупные хлопья взвеси, поступающие в нижнюю часть гидроциклона с присоединенным потоком являются центрами коагуляции для более мелких частиц, что также способствует осветлению воды.



1 - присоединенного, 2 - основного; 3 - попутного

Рисунок 50- Схема движения потоков в открытом гидроциклоне без диафрагмы (а) и с диафрагмой (б)

Эффективность осветления воды в открытом гидроциклоне возрастает с увеличением диаметра аппарата (рис. 49).



1, 2 - с плоской диафрагмой, диаметр соответственно 1250 и 2500 мм; 3 - с конической диафрагмой, диаметр 1250 мм; 4, 5, 6 - для гидроциклона диаметром соответственно 500, 1250 и 2500 мм.

Рисунок 51- Зависимость концентрации взвеси в осветленной воде от удельной гидравлической нагрузки для гидроциклона при коагуляции(а) и без нее (б)

В таблице 12 приведены параметры работы открытых гидроциклонов в случае очистки сточных вод газоочисток сталеплавильных производств.

Таблица 12-Параметры работы открытых гидроциклонов

Агрегаты	Охватывающая гидравлическая крупность взвеси, мм/с		Удельная гидравлическая нагрузка, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> *ч)	
	Без коагулирования	С коагулированием	Без коагулирования	С коагулирование
Конверторы	0,1 – 0,3	0,6	6 - 7	14

Неорганические коагулянты (сернокислый алюминий  $Al_2(SO_4)_3$ , железный купорос  $FeSO_4 \cdot H_2O$ , хлорное железо  $FeCl_3$ , бентонит и др.) гидролизуются в воде с образованием хлопьев гидроокисей, которые в процессе осаждения сорбируют тонкодисперсные загрязнения, включая коллоидные, чем ускоряется процесс осветления. Таким образом, коагулянты — вещества, введение которых в жидкость, вызывает слипание и выпадение в осадок мелких частиц.

Флокулянты (полиакриламид, активированная кремниевая кислота) способствуют образованию более крупных и прочных хлопьев либо интенсифицируют процесс самокоагуляции частиц (объединение коллоидных частиц в рыхлые хлопьевидные агрегаты). Применение реагентной обработки позволяет достичь эффективности улавливания (к.п.д.)= 99,5% . Однако такая обработка существенно осложняет эксплуатацию очистных сооружений и поэтому целесообразна лишь в тех случаях, когда к очистке предъявляются повышенные требования — при сбросе очищенных стоков в водоемы и направлении их в системы чистой охлаждающей воды.

К отходам конвертерного производства относятся шламы. Помимо проблем с его сгущением, есть проблемы, связанные с тем, что он содержит большое количество цинка. В случае утилизации в агломерационном производстве цинк возгоняется в верхние горизонты доменной печи, оседая на колошниках и коадке, ухудшает газопроницаемость и разрушает кладку.

Операции по переработке конвертерного шлама включают стадии:

- сгущение шлама в гидроциклоне;
- отжим шлама на ленточном фильтре;
- брикетирование на специальных устройствах;
- переработка брикетов в сталеплавильных печах.

### **Контрольные вопросы:**

1. Для чего используется вода в конверторном производстве?
2. Какой способ очистки газов используется в настоящее время?
3. Какой циклон применяется для очистки сточных вод газоочисток конверторных цехов?
4. Какие стадии включает операции по переработке конвертерного шлама?

### **Список литературы:**

1. Балтук В. А. «Основы экологии и охрана окружающей среды» Учебн. Пособие. – Львов: Афиша, 2001 – 336 с.
2. Родионов А. И. и др. Техника защиты окружающей среды Учебник для вузов 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1989 – 512 с.: ил.
3. Защита водоемов от загрязнений сточными водами предприятий черной металлургии. М.: Металлургия, 1978 – 216 с.
4. Инж. А. М. Конюшков Водоснабжение заводов черной металлургии. 1939 г.

## **Лекция №19. Борьба с пылью и обеспыливание выбросов машин огневой зачистки (МОЗ) в прокатном производстве.**

- 1. Борьба с пылью в прокатном производстве**
- 2. Обеспыливание выбросов машин огневой зачистки (МОЗ)**

Пыль в прокатном производстве образуется в результате измельчения окаины валками и испарения вследствие мгновенного увеличения давления и повышения температуры. Размер пыли 5 – 10 мкм, которая образуется от испарения окаины, составляет примерно 20 %. В среднем общий выброс пыли от всех источников пылеобразования составляет около 200 г/т товарного проката без огневой зачистки и 510 – 4320 г/т проката при наличии огневой

зачистки. Основными источниками технологических выбросов являются прокатные станы, машины огневой зачистки металла, травильные отделения и отделения металлопокрытий.

Металлическая пыль прокатных цехов является мелкодисперсной размером менее 50 мкм, которая составляет около 85 %, около 20 % от этого количества составляют пылинки 5 – 10 мкм. Особую опасность для организма человека представляют мелкие частицы пыли размером до 5 мкм, которые находятся в воздухе долгое время во взвешенном состоянии, особенно при повышенной подвижности воздуха.

Пыль, содержащая окислы железа, воздействует на органы дыхания. Проникая глубоко в дыхательные пути, эта пыль может привести к развитию специфического заболевания – сидероза. При большой запыленности воздушной среды попадающие на кожу пылевые частицы могут нарушить деятельность кожи, снизить ее сопротивляемость и затруднить терморегуляцию кожным покровом тела.

Нетоксичная пыль, находясь в легких длительное время, постепенно вызывает разрастание вокруг каждой пылинки соединительной ткани, которая не способна воспринимать кислород из вдыхаемого воздуха, насыщать им кровь и выделять углекислоту. Этот процесс разрастания соединительной ткани протекает медленно, как правило годами.

Запыленность воздуха у обжимных станов горячей прокатки доходит до 4400 мг/м<sup>3</sup>, а у местных станов до 2400 кг/м<sup>3</sup>.

Основными мероприятиями по борьбе с пылью в прокатном производстве являются: усовершенствование оборудования, применение эффективной герметизации и аспирации всех пыле выделяющих источников, увлажнение пыли водой или паром; устройство специальной пылеулавливающей вентиляции от мест пылеобразования с очисткой воздуха перед выбросом его в атмосферу через систему фильтров, регулярная уборка пыли с рабочих мест специальными пылесосами, применение индивидуальных средств защиты (респираторов, очков, специальной одежды).

Иногда изолируют пыльные участки производства от других помещений с помощью установки перегородок или заключения отдельных особо пылящих агрегатов в специальные кожухи – кабины.

Для подавления пыли при прокатке применяют также гидрообеспыливание, осуществляемое с помощью форсунок с тонким распылением воды, механическим и пневматическим равномерным орошением мест пылевыведения через дырчатые трубы и т. п. Однако такие способы не дали высокой эффективности.

Наилучшие результаты достигаются при смыве пыли компактной струей воды в месте ее образования. Вода подается на прокатываемый металл в месте выхода его из валков и отводится по специальному желобу. При прокате листа толщиной 2 мм степень обеспыливания 98 - 99 %. При этом дополнительного нежелательного охлаждения листа практически не происходит.

При гидросмыве ориентировочный расход воды равен м<sup>3</sup>/ч: на блюминге 40, слябинге 30, на одну клеть листового стана 6 – 10, непрерывного сортопрокатного стана 2 и на один проход на раскатном стане 1.

При прокате металла из специальных сталей, когда не допустима подача воды на поверхность проката для борьбы с пылью, применяют укрытие прокатных клетей с отсосом воздуха и очисткой его в мокрых центробежных циклонах.

На станах холодной прокатки металла для охлаждения валков подают эмульсию, которая испаряется и загрязняет производственные помещения.

Пары эмульсии очень агрессивны и наносят очень большой вред оборудованию, особенно электроаппаратуре и отопительным агрегатам. Для локализации паров эмульсии на стане холодной прокатки предусматривают укрытия, из которых отсасывается воздух (25000 – 40000 м<sup>3</sup>/ч) на каждое межклетьеовое пространство, причем 70 % из верхней зоны, и 30 % из нижней.

Оседающая на слое эмульсии пыль образует липкие трудноудаляемые отложения, поэтому воздухопровод и вентилятор нужно защищать. Для этой цели по возможности ближе к тану устанавливают два поочередно работающих сетчатых фильтра, регенерация которых осуществляется разогревом пара и промывкой щелочным раствором.

Наряду с гидрообеспыливанием прокатные станы оборудуются специальными пылеотсасывающими устройствами.

Для улавливания пыли на небольших прокатных станах устанавливают зонты на высоте 2,4 м, чтобы не мешать обслуживанию стана.

Для обеспечения полного улавливания пыли скорость всасывания воздуха в отверстия зонта должна быть не менее 2 м/с и ширина зонта должна быть равна или немного меньше ширины клетки стана. Конструкция получается весьма громоздкой вследствие больших присосов воздуха. Расходы воздуха (100 – 900 м<sup>3</sup>/ч) и энергии весьма значительны. Отсасываемый запыленный воздух очищается наиболее простым в эксплуатации мокрым способом очистки.

Машины огневой зачистки (МОЗ) устанавливаются в потоке прокатных станов (блужингов, слябингов или МНЛЗ) и предназначены для удаления дефектов с поверхности литых или катанных заготовок. Зачистка поверхности заготовок осуществляется при помощи щелевых горелок, работающих на природном газе в смеси с кислородом. На поверхности металла создается температура до 2000 °С. В результате поверхностный слой металла толщиной 1 – 3 мм расплавляется и частично сгорает. Для удаления этого верхнего слоя на поверхность металла под высоким давлением подают воду. При этом шлак гранулируется и смывается (водой транспортируется в яму для окалины). Одновременно выделяется большое количество газа, содержащего мелкодисперсную пыль и водяные пары.

Количество газа, выделяющегося от МОЗ, зависит от ее производительности и в смеси с воздухом колеблется от 150 – 200 тыс м<sup>3</sup>/ч (в зарубежной практике до 350 тыс м<sup>3</sup>/ч). Температура газов за МОЗ составляет 65 – 70 °С. Влагосодержание отсасываемого газа равно в среднем 150 г/м<sup>3</sup>. состав отсасываемой газовойоздушной смеси приближается к составу атмосферного воздуха, обогащенного кислородом, и характеризуется следующими данными: 1,7 % CO<sub>2</sub>; 28,5 % O<sub>2</sub>; 69,2 % N<sub>2</sub>; 0,6 СО.

Вместе с отсасываемым газом выносятся большое количество мелкодисперсной пыли, концентрация которой составляет обычно 3 – 6 г/м<sup>3</sup>, повышаясь в отдельные периоды до 10 – 12 г/м<sup>3</sup>. Пыль от МОЗ содержит в основном оксиды железа, количество которых достигает 75 – 90 % и в небольшом количестве - окислы кальция, кремния и других элементов. В пыли присутствуют и мелкие фракции:

Фракция, мм	< 0,5	0,5 – 1	> 1
Содержание, %	20 -25	60 – 65	10 – 20

Высокая дисперсность пыли заставляет применять для очистки газов МОЗ самые совершенные уловители пыли. Наибольшее распространение получили скрубберы Вентури и электрофилтры. Газоочистные установки рассчитывают на максимальное количество газов 150 – 200 тыс м<sup>3</sup>/ч. Трубы-распылители работают со скоростями 100 – 150 м/с при удельном расходе воды 1 – 1,2 дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, капле уловители прямоточного типа. При этих условиях запыленность уходящих газов удовлетворяет санитарным требованиям.

Ввиду того, что электрическое сопротивление пыли не слишком велико, она достаточно хорошо улавливается электрофилтрами, чему способствует также низкая температура и достаточная влажность газа. Поэтому там, где можно разместить электрофилтры, предпочитают их установку, так как малые эксплуатационные расходы и отсутствие водопотребления обуславливают меньшие приведенные затраты по сравнению с эксплуатацией мокрых газоочисток.

В процессе работы МОЗ вода используется для выполнения следующих операций:

- а) гидросбива окалины и шлака с роликов и желобов подающего рольганга;
- б) охлаждение оборудования МОЗ и роликов подающего рольганга;
- в) очистки газов, образующихся при огневой зачистке заготовок (запыленность газов около 2 г/м<sup>3</sup>).

На большинстве действующих МОЗ сточные воды сбрасываются в подстановый лоток и проходят очистку совместно со сточными водами прокатных цехов.

Сточные воды МОЗ загрязнены в основном твердыми механическими примесями. Кроме того, в сточные воды в небольших количествах могут попадать масла, применяющиеся для смазки подшипников роликов рольганга.

Концентрация механических примесей (окалины) в общем стоке МОЗ колеблется от 440 до 1500 мг/л, в сточных водах газоочистки – находится в пределах 200 – 400 мг/л.

Основная часть взвешенных веществ содержащаяся в сточных водах газоочисток МОЗ представлена в виде окислов металлов (частицами крупностью менее 5 мкм). Для достижения в осветленной воде концентрации взвеси 150 – 200 мг/л необходимо задерживать частицы со скоростью осаждения  $U_0 = 0,2$  мм/с (при естественном осаждении) и 0,8 мм/с (при осаждении с применением коагуляции). В

качестве коагулянта рекомендуется использовать полиакриломид (ПАА) до 1 мг/л – очистка на радиальных отстойниках. Перед радиальными отстойниками сточные воды прокатных станов предварительно очищаются в ловушках типа горизонтальных отстойников или открытых гидроциклонов, позволяющих отделить крупнодисперсную фракцию твердых примесей. Время пребывания воды в них 2 – 3 мин, выгрузка осадка осуществляется грейферным краном.

Открытый гидроциклон применяется для очистки вод от грубодисперсных взвешенных веществ, масла. Расход сточных вод 200 м<sup>3</sup>/ч.

Сточные воды станов горячего проката содержат различные масла и нефтепродукты, попадающие через не плотности в системах смазки. Индустриальные масла и солидолы, содержащиеся в сточных водах, имеют плотность соответственно 0,879 и 0,923 г/м<sup>3</sup>. Часть масел, содержащихся в сточных водах, задерживается в сооружениях первой ступени очистки (особенно солидолы).

#### **Контрольные вопросы:**

1. В результате чего образуется пыль в прокатном производстве?
2. Назовите основные источники технологических выбросов.
3. Какие пыли представляют особую опасность для организма человека?
4. Какие мероприятия проводят по борьбе с пылью в прокатном производстве?
5. Для чего используется вода в процессе работы МОЗ?

#### **Список литературы:**

1. Защита водоемов от загрязнений сточными водами предприятий черной металлургии. Левин Г. М., Пантелют Г.С., Вайнштейн И.А., Супрун Ю М., М., Металлургия, 1978, 216 с.
2. Охрана труда в прокатном производстве. Молчанова З. В., М., Металлургия, 1973, 248 с.
3. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. Старк С. Б.: Учебник для вузов. Изд. 2 – е, перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990, 400 с.



4. Юдашкин М. Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии. Изд. 2 – е, перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1984, 320 с.

## **Лекция №20. Водопотребление и очистка сточных вод прокатных станов.**

- 1. Водопотребление в прокатном производстве**
- 2. Очистка сточных вод прокатных станов отстаиванием**
- 3. Очистка сточных вод прокатных станов фильтрованием**

Производительность металлургического агрегата не всегда может быть единственным критерием, определяющим его водопотребление. Потребление воды двумя одинаковыми прокатными станами может различаться на 30 – 40 % в зависимости от наличия участка термоупрочнения проката.

Имеются факторы, влияющие на сокращение водопотребления:

- а) испарительное охлаждение металлургических печей и кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), позволяющее сократить потребление воды в охлаждаемых деталях в 50 - 60 раз;
- б) сухие методы очистки отходящих газов;
- в) усовершенствование способов охлаждения прокатного оборудования и металла – замена малоэффективного способа охлаждения при помощи перфорированных труб форсуночным охлаждением, что позволяет в ряде случаев сократить потребление воды на 20 - 30 %;
- г) совершенствование способов промывки металла после травления путем применения каскадов, противотока и воздушной промывки;
- д) воздушное охлаждения. Замкнутые циркуляционные контуры умягченной воды или эмульсий, применяемые для охлаждения некоторых агрегатов и сред, могут охлаждаться воздухом.

Основные факторы, увеличивающие потребление воды:

- а) увеличение доли стали, разливаемой в МНЛЗ, а также выплавляемой в конверторах и электропечах, за счет сокращения выплавки стали в мартеновских печах и разливки стали в изложницы, менее водоемного процесса за счет меньшего количества охлаждаемых деталей;

б) увеличение доли горячекатаного листа в общем производстве проката. Производство листовой стали является более водоемким процессом, чем сортового проката (примерно на 30 – 40 %), за счет большого количества охлаждаемых механизмов – клетей, рольгангов, моталок и др.;

в) увеличение доли термоупрочненного проката в общем производстве проката. Процесс термоупрочнения связан с использованием значительных расходов воды на быстрое охлаждение металла (с температуры 800 до 150 – 200 °С) во время его движения по рольгангу;

г) увеличение доли холоднокатаного листа, в том числе листа с различными покрытиями, а также жести в общем производстве проката. Так, на производство 1 т холоднокатаного листа с покрытиями расходуется около 40 м<sup>3</sup>, а на 1 т жести – 173 м<sup>3</sup> воды.

Для приближенных расчетов водопотребления удобно пользоваться усредненными по отрасли комплексными показателями расхода воды, включающими все технологические операции данного вида производства, а также расхода воды для энергоносителей и на вспомогательные нужды общезаводского значения.

Таблица 13-Среднеотраслевые комплексные удельные расхода воды для прокатного производства

Вид производства	Расход воды, м <sup>3</sup> /т	Вид производства	Расход воды, м <sup>3</sup> /т
Горячий прокат (лист)		Холоднокатаный прокат	
Охлаждение валков	12,64	Охлаждение оборудования	13,48
Охлаждение оборудования	6,53	Охлаждение воздуха и масла	18,90
Охлаждение воздуха и масла	9,27	Охлаждение печей	14,02
Охлаждение печей	8,98	Травление	4,12
Гидрослив и гидросмыв	3,51	Производство покрытий	0,35
Термообработка	0,28	Энергетика:	
Огневая зачистка	0,25	Кислород	0,46
Энергетика:		Сжатый воздух	0,26
Кислород	0,29	Умягченная вода	0,61
Сжатый воздух	0,17	Электроэнергия	6,49
Умягченная вода	0,46		
Электроэнергия	6,57		
Всего:	48,95	Всего:	58,69

Вторичная очистка вод производится, как правило, в горизонтальных отстойниках. Конструкции указанных отстойников разработаны давно и обладают следующими недостатками:

1) несовершенством устройств впуска, распределения и сбора воды. Это приводит к тому, что в объеме отстойников наблюдается струйность потоков и наличие мертвых зон;

- 2) несовершенством маслоулавливающих устройств, требующих ручной регулировки при изменении расходов воды;
- 3) периодическим удалением шлама, что приводит к сокращению полезного объема отстойников и не позволяет получать стабильное количество очищенной воды.

Удовлетворительная степень очистки сточных вод в горизонтальных отстойниках может быть достигнута при весьма низких удельных гидравлических нагрузках., что требует значительных производственных площадей для размещения очистных сооружений.

Для осветления сточных вод прокатных производств эксплуатируется ряд промышленных установок с открытыми гидроциклонами простейшей конструкции, выполняющих роль ям для окалины. В этом случае отделение окалины улучшается за счет совместного действия гравитационных и центробежных сил.

При очистке сточных вод, расход которых превышает 200 м<sup>3</sup>/ч, рекомендуется использовать многоярусные низконапорные гидроциклоны. В основу работы этого аппарата положено отстаивание воды в тонких слоях, заключенных между коническими поверхностями секций. В сточных водах, поступающих на очистку в открытые гидроциклоны (с десятью ярусами), содержится 100 – 200 мг/л взвешенных веществ и от 8 до 200 мг/л масел. В очищенной воде концентрация взвеси составляет от 65 до 85 мг/л в зависимости от удельной гидравлической нагрузки. Масла в гидроциклоне улавливаются в незначительном количестве. Величина основной массы задерживаемых частиц взвеси (80 – 90 %) превышает 10 мкм.

Таким образом, низконапорные гидроциклоны рекомендуется применять для очистки сточных вод, содержащих крупнодисперсную взвесь с  $U_0 = 0,3$  мм/с и небольшую концентрацию масел. Следует учитывать, что в гидроциклонах указанной конструкции возможно забивание окалиной и другими случайными предметами шламопроводящих каналов и межъярусных пространств.

Применении открытых гидроциклонов качестве единственного средства для вторичной очистки сточных вод нецелесообразно, т.к. потребуется доочистка от твердых механических примесей (мелкодисперсных) и особенно от масел с помощью отстойников или фильтров.

С целью повышения эффективности улавливания масел предложены конструкции гидроциклонов – флотаторов. Сточная

вода, подлежащая очистке, подается в верхнюю часть форкамеры. Кроме того, в агрегат вводится часть осветленной (рециркуляционной) воды, насыщенной воздухом под давлением  $0,3 - 0,4 \text{ МН/м}^2$ . Расход циркуляционной воды рекомендуется принимать  $25 - 30 \%$  от расхода воды, подаваемой на очистку. Вода, насыщенная растворенным воздухом, из напорного бака поступает в распределитель воздушной смеси. Водно-воздушная смесь из распределителя подается в камеру флотации, где давление падает от атмосферного и происходит выделение растворенного воздуха в виде мельчайших пузырьков. Пузырьки воздуха всплывают на поверхность, захватывая при этом капельки масел и мельчайшую взвесь. Количество воздуха, необходимого для насыщения воды, составляет  $4 - 8 \%$  от расхода рециркуляционной воды. Время пребывания воды в напорном баке рекомендуется принимать 2 мин.

Во ВНИПИЧерМетЭнергоочистке разработан вихревой аппарат, являющийся разновидностью открытого гидроциклона. Отделение масел обеспечивается с помощью напорной флотации. Насыщение воды воздухом осуществляется до гидроциклонов. Основная часть масла всплывает в распределительной камере, а доочистка происходит в центральной части аппарата. Особенностью является так же то, что вода поступает в центральную часть через перфорированную перегородку с площадью отверстий  $10 \%$  от ее боковой поверхности. Это обеспечивает равномерное распределение воды во всем объеме аппарата. Вихревые аппараты рассчитаны на работу с нагрузками до  $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  с применением коагуляции и флотации. При этом в очищенной воде концентрация взвешенных веществ составляет до  $50 \text{ мг/л}$ , масел – до  $30 \text{ мг/л}$ .

Изучение коагулирующего действия известкового молока, сернокислого алюминия, сернокислого железа, хлорного железа и ПАА показало, что наиболее интенсивно процесс укрепления механических примесей происходит при совместном действии  $25 \text{ мг/л}$  хлорного железа и  $1 \text{ мг/л}$  ПАА.

За рубежом камеры флокуляции, которые встраиваются в отстойники, чаще всего выполняются в виде круглого резервуара, внутри которого устанавливается механическая мешалка. Процесс хлопьеобразования в камерах этого типа интенсифицируется благодаря наличию градиента скоростей, облегчающих столкновение механических примесей.

В механическую часть отстойников вмонтированы автономные приводы скребковых ферт и мешалок, а также планетарные редукторы, обеспечивающие вращение скребковых ферт и мешалок с различной частотой вращения.

Для бесперебойной работы фильтров наибольшее значение имеет предварительная очистка сточных вод, уменьшающая нагрузку на фильтрующую загрузку. Если фильтры монтируют на станах с ямой для окарины недостаточной емкости, перед фильтрами устанавливают дополнительные отстойники, в основном радиального типа, для предварительного отделения твердых механических примесей и масел. Фильтрующий материал представляет собой песок, состоящий из частиц сферической формы диаметром 2 – 3 мм. В качестве поддерживающих слоев используется гравий.

Все более широкое распространение получили процессы фильтрации через сетчатые фильтрующие перегородки, предназначенные как для грубой, так и более тонкой очистки.

Для грубой очистки сточных вод от случайных плавающих предметов часто применяют двухкамерные фильтры со штампованными сетками с ячейками диаметром 6 мм. Рассчитаны они на очистку 2000 м<sup>3</sup>/ч воды и устанавливают их до основных очистных сооружений (открытых гидроциклонов, радиальных отстойников, и др.) с целью защиты их от попадания крупных предметов, которые засоряют шламоотводящие устройства и системы улавливания масел.

Для повышения эффективности грубой очистки воды НИИПТмаш предложил конструкцию и технологию изготовления сеток с ячейками размером 0,5x14 и 0,95x1,65 мм. Фильтры с указанными сетками указаны в системе водоснабжения стана горячей прокатки листа. Сетки испытанной конструкции удовлетворительно регенерируются методом дублирования в течение 5 – 6 мин при давлении 3 ат. Промывка сеток должна производиться через 200 – 250 ч непрерывной работы.

В настоящее время изготовлены также микрофильтры с ткаными сетками из никеля или фосфористой бронзы с размером ячейки 400 мкм. Сетки натянуты на горизонтальные непрерывно вращающиеся барабаны. Загрязненная вода поступает внутрь барабана и фильтруется через сетку. Промывка осуществляется при постоянной подаче струи воды на наружную поверхность сетки.

Горизонтальный напорный фильтр с глубокой постелью, корпус которого представляет собой сварной стальной резервуар длиной 10 – 11 м и диаметром 3 м, разделенный на две секции с песчаной и гравийной загрузкой. Высота фильтрующей загрузки 0,9 м. сточные воды последовательно проходят обе секции: вначале через гравийный, а затем – песчаный фильтр. На такие фильтры поступает вода с концентрацией взвешенных веществ в среднем 200 мг/л и масел 50 мг/л при скорости фильтрации 50 м/ч (секция с гравийной загрузкой) и 25 м/ч (секция с песчаной загрузкой). В очищенной воде содержится до 30 мг/л взвешенных веществ и до 20 мг/л масел.

В качестве фильтрующего материала используется стабильная полимерная смола. Марвинол №=2001, отличающийся повышенной грязеемкостью. При скорости фильтрации 140 – 175 м/ч концентрация взвеси в очищаемой воде снижается со 100 – 200 до 1 – 5 мг/л, а масел с 20 – 40 до 0,5 – 3,0 мг/л.

Работа описанных фильтров с минеральной загрузкой эффективна благодаря разработанному в ФРГ методу регенерации с помощью регулируемой подачи воздуха, что достигается применением М-образных блоков. Это устройство обеспечивает равномерное распределение воздуха по всей площади фильтра при его промывке и позволяет резко сократить количество промывочной воды.

Для очистки окалиносодержащих сточных вод прокатных станов применяют напорные двухъярусные фильтры с плавающей загрузкой из гранул вспененного полистирола. Двухслойная загрузка состоит из гранул с уменьшающимися размерами по ходу движения воды: первый слой толщиной 600 – 1200 мм с размерами гранул 3 – 5 мм и второй слой той же толщины с размером гранул 2 – 3 мм. Эффективность работы двухслойных фильтров характеризуется следующими данными. При скорости фильтрования 50 – 70 м/ч содержание окалина снижается с 200 до 10 – 15 мг/л. Масло в основном сорбируется на поверхности окалина и удаляется вместе с ней при промывке фильтра. Продолжительность фильтроцикла 9 – 12 – 22 ч, конечные потери напора 8 м, удельная грязеемкость 45 – 60 кг/м<sup>3</sup>, интенсивность промывки 18 – 22 л/с·м<sup>2</sup>, расход промывной воды 3 – 4 % профильтрованной. Фильтры трех размеров: диаметром 3; 2 и 3,4 м.

Фильтры с плавающей пенополистирольной загрузкой для очистки сточных вод имеют некоторые недостатки. Вспененный

полистирол в промышленных условиях получают по специальной технологии с использованием горячей воды. При длительной работе фильтра гранулы полистирола, несмотря на промывку, обволакиваются маслом, что может привести к кульминации загрузки. В таких фильтрах процессы фильтрации и регенерации загрузки осуществляются непрерывно. Часть загрязненной фильтрующей загрузки непрерывно отводится в специальный промыватель а затем вновь возвращается в фильтр.

### **Контрольные вопросы:**

1. Какие факторы имеются, влияющие на сокращение водопотребления?
2. Вторичная очистка вод производится, как правило, в горизонтальных отстойниках. Назовите недостатки этих конструкций.
3. Особенности очистки вод прокатных станов фильтрованием.

### **Список литературы:**

1. Очистка производственных сточных вод: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по спец. «Водоснабжение и канализация» и «Очистка природных и сточных вод» / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. – М.: Строиздат, 1979. – 320 с., ил.
2. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. 2 – е изд. перераб. и доп. Смирнов А.Н., Генкин В.Е., М.: Металлургия, 1989, 224 с.
3. Безопасность труда на производстве. Производственная санитария. Справочное пособие. Коллектив авторов. Под ред. проф. Б. М. Злобинского. Изд-во «Металлургия», 1968, с. 688.
4. Методы очистки производственных сточных вод: справочное пособие / Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. - М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.

## **Лекция № 21. Очистки сточных вод в цехах горячей прокатки**

- 1. Первичный отстойник*
- 2. Вторичный отстойник*

### 3. Напорные гидроциклоны

### 4. Вентиляционные установки

Сточные воды в цехах горячей прокатки образуются при охлаждении станового оборудования, гидросбиве и гидросмыве окалины. Количество окалины зависит от величины нагреваемого слитка и колеблется в пределах от 500 до 2500 г/м<sup>3</sup>. Количество масла зависит от конструкции подшипников рольгангов. Характеристика сточных вод приведена в таблице 14.

Таблица 14. Характеристика сточных вод прокатных цехов

Станы	Содержание окалины в сточной воде, г/м <sup>3</sup>	Количество масла в сточной воде, г/м <sup>3</sup>		Температура нагрева в процессе производства, °С
		При бронзовых подшипниках	При текстолитовых подшипниках	
Крупносортовые	600 – 2500	30 – 40	10 – 30	3 – 5
Среднесортные	600 – 1500	30 – 40	10 – 30	3 – 5
Мелкосортные	200 – 650	30 – 40	10 – 30	3 – 5
Листопрокатные	До 300	30 – 40	10 – 30	3 – 5
Трубопрокатные	> 300	60 - 180	30 - 100	3 - 5

Водоснабжение потребителей грязной воды в прокатных цехах осуществляется по оборотной схеме. Остаточное содержание взвешенных веществ в осветленных водах составляет 40 – 70 г/м<sup>3</sup>.

В зависимости от количества окалины в сточной воде применяют одно- или двухступенчатую очистку. Первую применяют при содержании окалины в сточной воде до 300 г/м<sup>3</sup>, вторую – более 300 г/м<sup>3</sup>.

Таблица 15. Сооружения для очистки окалиносодержащих сточных вод

Характеристика сточной воды	Количество окалины в сточной воде, г/м <sup>3</sup>		
	более 300		менее 300
	I ступень очистки	II ступень очистки	
С содержанием окалины и масла	Первичный отстойник	Вторичный горизонтальный отстойник; открытый гидроциклон	Вторичный горизонтальный отстойник; открытый гидроциклон
С содержанием			Вторичный



окалины	Первичный отстойник	Вторичный отстойник; закрытый гидроциклон	горизонтальный отстойник; закрытый гидроциклон
---------	---------------------	--	---

*Первичный отстойник* служит для улавливания частиц окалины размером более 1 мм.

Количество окалины составляет: от крупносортовых станов – около 3 %, мелкосортовых – около 4 % от веса прокатываемого металла; крупных частиц (размером более 1 мм) в окалине 70 – 90 %.

Размеры первичного отстойника определяют в зависимости от количества воды, механизма уборки окалины и места для размещения отстойника.

Время пребывания воды в отстойнике 1 – 1,5 мин, скорость движения воды 0,1 – 0,15 м/сек, глубина проточной части 1,5 м, ширину отстойника выбирают в зависимости от принятого механизма уборки. Длина отстойника

$$L = \frac{Q \cdot t}{60 h_{\text{прот}} \cdot B},$$

где Q – расход загрязненной воды, м<sup>3</sup>/сек;

t – время пребывания воды в отстойнике, мин;

h<sub>прот</sub> – глубина проточной части, м;

B – ширина отстойника, м.

Величина осадочной части отстойника должна быть рассчитана на хранение суточного объема осевшей окалины.

Таблица 16. Объемный вес окалины от прокатных станов

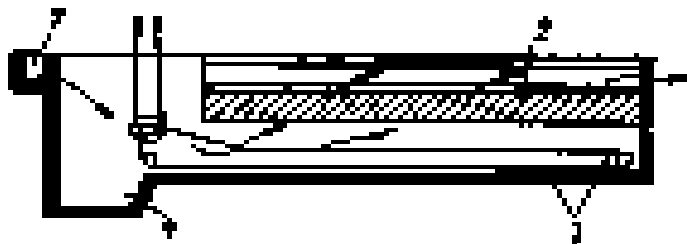
Станы	Объемный вес окалины, г/м <sup>3</sup>	
	влажной	сухой
Крупносортовые	3,28	2,76
Среднесортовые	2,25	2,01
Мелкосортовые	2,27	1,81

Размеры бункера для хранения выгруженной из отстойника окалины принимают конструктивно. Объем бункера должен

обеспечивать хранение окалины в течение: от крупносортовых станов – одних суток, среднесортных – двух суток, мелкосортных – трех суток.

Уборку окалины из первичного отстойника в зависимости от ее количества можно производить грейферным краном, скреперной лебедкой, многоковшовым транспортером.

Количество окалины в сточных водах после первичного отстойника колеблется в пределах от 100 до 1300 г/м<sup>3</sup>; среднее количество взвеси – около 300 г/м<sup>3</sup>.



1 — Подводящий лоток; 2 — трубчатые элементы; 3 — скребковое устройство; 4 — приемок

Рисунок 52. Горизонтальный отстойник с трубчатыми элементами

*Вторичный горизонтальный отстойник.* Содержание окалины в сточных водах прокатных цехов после их первичного отстаивания можно принять, г/м<sup>3</sup>: от крупносортовых станов 400, среднесортных 200, мелкосортных 100 мг/л. Содержание масла 40 мг/л. Для трубопрокатных цехов содержание окалины – около 300 мг/л, масла 100 мг/л.

Наименьшая скорость выпадения осадка  $U_0$  во вторичных отстойниках составляет мм/сек: от крупносортовых станов 0,5 – 0,3, среднесортных 0,3 – 0,2, мелкосортных 0,1.

Из сточных вод от крупносортовых станов в течение 15 -20 мин выпадает 80 - 85 % окалины. Выпадение окалины из сточных вод других станов выпадает медленнее.

Для вторичного осветления сточных вод прокатных цехов применяют отстойник, разработанный Гипромезом. Отстойник представляет собой набор секций размером 6 x 18 м, объединенных в блоки по две или четыре. Количество блоков зависит от количества очищаемых сточных вод. Гидравлическая нагрузка на одну секцию отстойника 120 – 150 м<sup>3</sup>/ч. Расположение отстойника может быть однорядным и двухрядным в зависимости от числа секций и их расположения на генеральном плане. Уборка окалины из отстойника производится грейферным краном. Всплывшее масло при помощи

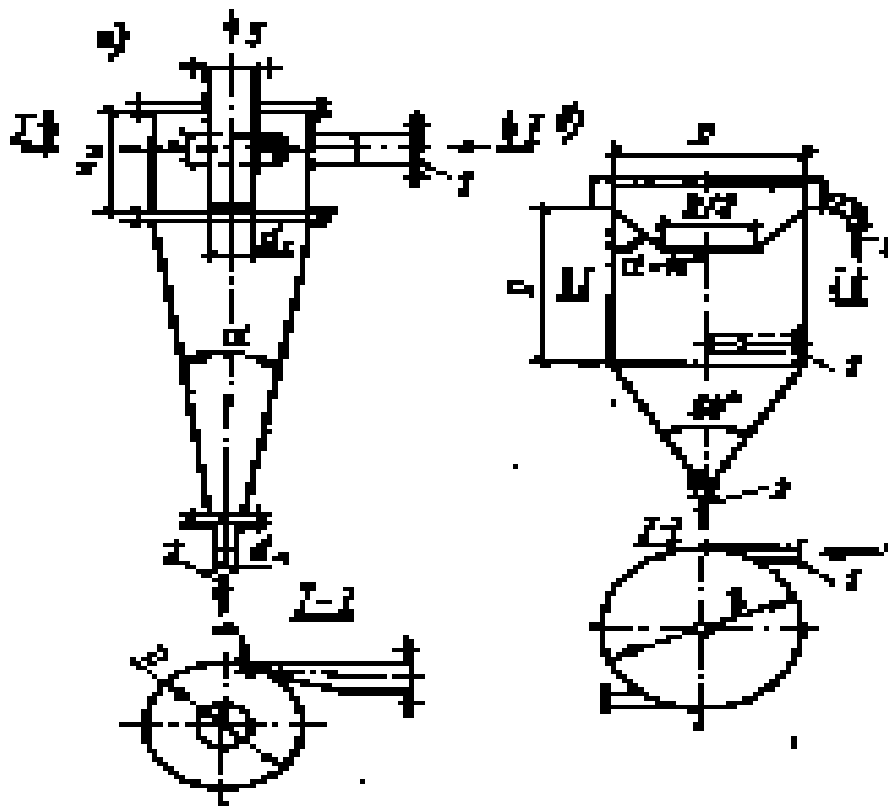
щелевой трубы направляется в специальную секцию. Для сгона масла с поверхности воды предусматривают специальную тележку. Скорость воды в подводящих лотках обычно принимают в пределах 1,2 – 1,5 м/сек.

При определении числа отстойников необходимо производить расчет на хранение окалины в отстойнике.

*Напорные гидроциклоны* можно применять для вторичного осветления сточных вод со средним содержанием окалины около 300 мг/л.

В комплект к гидроциклону входят сменные песковые насадки двух типоразмеров.

Эффект осветления окалиносодержащих сточных вод в напорных гидроциклонах 70 – 80 %, при этом нагрузка и выход пульпы зависят от напора воды перед ним и его диаметра. Так, при напоре 10 м вод. ст. и диаметре гидроциклона 250 мм расход воды на гидроциклон составляет около 50 м<sup>3</sup>/ч; при диам. 350 мм – 100 м<sup>3</sup>/ч, при диам. 500 мм - 200 м<sup>3</sup>/ч. Количество сбрасываемой пульпы составляет 5 – 10 % от общего расхода.



*a* — напорный; *б* — открытый: 1 — подводящий трубопровод; 2 — отвод шлама; 3 — отвод очищенной воды.

Рисунок 53. Гидроциклоны

При наличии поступающих в гидроциклоны сточных водах масла вода после осветления направляется в маслоловушки.

Пульпу от гидроциклонов можно направлять в накопители или на утилизацию, устраивают так же отстойники для хранения окалины в зимний период.

Отработанная эмульсия от прокатных станков сбрасывается периодически – один раз в 2 – 3 суток; ее количество зависит от производительности и числа станков и колеблется в пределах 300 – 500 м<sup>3</sup> на каждый стан.

Отработанная эмульсия металлодвижущих станков также сбрасывается периодически; ее количество зависит от мощности и числа станков, практически сброс отработанной эмульсии от металлорежущих станков составляет 20 – 70 м<sup>3</sup>/сутки.

Для разложения маслоэмульсионных сточных вод применяют отработанный травильный раствор или 26 %-ный раствор поваренной соли.

Маслоэмульсионные сточные воды поступают в смеситель, где смешиваются с реагентом, а затем в резервуар – отстойник; всплывшее масло вытесняется в емкость для масла; осветленная вода направляется в специальную емкость, откуда поступает на нейтрализацию. Расход отработанного травильного раствора составляет 100 л на 1 м<sup>3</sup> эмульсии; расход 26 %-ного раствора поваренной соли 78 л на 1 м<sup>3</sup> эмульсии. Температура процесса должна быть 50 °С.

При количестве сбрасываемой эмульсии порядка 5 – 20 м<sup>3</sup>/сутки очистка маслоэмульсионных сточных вод производится совместно со сточными водами хозяйственно-фекальной канализации.

Вентиляционные установки. Удельный расход воды на очистку 1 м<sup>3</sup> воздуха составляет около 0,5 л. Концентрация взвешенных веществ в сточных водах от вентиляционных устройств колеблется в значительных пределах и может достигать 20000 г/м<sup>3</sup>. Количество взвешенных веществ можно уменьшить, если это необходимо, разбавлением водой.

Осветление сточных вод вентиляционных установок обычно производят методом отстаивания. Для этой цели применяют горизонтальные или радиальные отстойники. При установлении размеров отстойника расчетную скорость выпадения взвеси

определяют с учетом начальной и конечной концентрации взвешенных частиц в стоках.

При сбросе осветленных вод в водоем остаточная концентрация взвешенных веществ должна удовлетворять санитарным требованиям.

При возврате этих вод тем же потребителям остаточная концентрация взвешенных веществ не должна превышать  $150 \text{ г/м}^3$ .

Устройство локальных очисток наиболее целесообразно для вентиляционных установок, обслуживающих несколько близко расположенных цехов или отдаленный цех.

При большом числе вентиляционных установок сточные воды следует подавать на осветление в заводской шламонакопитель по единой системе гидротранспорта.

### **Контрольные вопросы:**

1. Применение первичного отстойника.
2. Кем разработан отстойник для вторичного осветления сточных вод прокатных цехов?
3. Какой расчет при определении числа отстойников необходимо производить?
4. Какие гидроциклоны можно применять для вторичного осветления сточных вод со средним содержанием окалина около  $300 \text{ мг/л}$ ?
5. Каким методом производят осветление сточных вод вентиляционных установок?

### **Список литературы:**

1. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. 2 – е изд. перераб. и доп. Смирнов А.Н., Генкин В.Е., М.: Металлургия, 1989, 224 с.
2. Безопасность труда на производстве. Производственная санитария. Справочное пособие. Коллектив авторов. Под ред. проф. Б. М. Злобинского. Изд-во «Металлургия», 1968, с. 688.
3. Методы очистки производственных сточных вод: справочное пособие / Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. - М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.

## **Лекция № 22. Вредные выбросы и сточные воды травильного отделения в прокатном производстве.**

### **1. Сточные воды травильных отделений**

### **2. Борьба с вредными выбросами травильных отделений**

Сточные воды в травильных отделениях образуются в результате обработки изделий из черных металлов кислотами. Они бывают двух видов: отработанный раствор кислот и кислотные воды после промывки изделий.

Обычно из травильных ванн с серной кислотой отработанный раствор сбрасывается с остаточным содержанием серной кислоты 30 – 70 кг/м<sup>3</sup> и железного купороса 150 – 300 кг/м<sup>3</sup>. Температура сточных вод достигает 80 °С.

Сточные воды после промывки изделий содержат около 0,5 кг/м<sup>3</sup> серной кислоты и железного купороса.

Количество сточных вод после обработки изделий другими кислотами незначительно по сравнению с количеством вод после обработки серной кислотой.

Промывочные сточные воды и сточные воды с содержанием других кислот направляют на нейтрализационную установку, где они нейтрализуются известковым молоком, а затем подаются на длительное осветление в шламонакопители. Осветленная вода может быть сброшена в водоем или использована.

При прокате трансформаторных сталей сточные воды содержат до 15 кг/м<sup>3</sup> кремниевой кислоты. Перед тем, как подать эти воды в купоросную, необходимо извлечь кремниевую кислоту на обескремнивающей установке.

Сточные воды, образующиеся при мытье полов травильных отделений, ванн, аппаратуры, обычно направляют на нейтрализационную установку.

*Купоросные установки* оборудованы вакуум-эжекционными агрегатами периодического действия производительностью 500 – 1500 т/год и непрерывного действия производительностью 3000 т/год.

Травильные растворы с температурой 60 – 90 °С подают в испарители, где за счет вакуума, создаваемого пароежекторами, происходит выпаривание раствора. После этого раствор попадает в кристаллизаторы, где происходит аналогичный процесс. В последнем

кристаллизаторе при давлении 7 мм рт. ст. и температуре 10 °С образуется смесь кристаллов купороса и раствора серной кислоты, которую добавляют в кристаллизатор для интенсификации процесса высадки купороса. Отделение купороса от маточника происходит в центрифуге. Маточник с содержанием 20 % кислоты и 10 % купороса направляют в травильное отделение.

*Нейтрализационная установка.* Нейтрализация кислотных сточных вод производится известковым раствором. В зависимости от количества вод, подлежащих нейтрализации, меняется суточный расход извести.

Крепость известкового раствора при нейтрализации 5 – 10 %; при расчете потребности в извести для нейтрализации принята усредненная известь с 50 % активности.

Расход извести на нейтрализацию зависит от концентрации кислоты в промывных водах.

Количество шлама, получающегося в результате нейтрализации сернокислотных сточных вод товарной известью, составляет около 2 т на 1 т извести.

Влажность шлама, получаемого в результате нейтрализации, после трехчасового отстаивания составляет 99 %, т.е. 200 м<sup>3</sup> шлама на 1 т товарной извести.

*Установка для извлечения кремния из травильных растворов.* Кремниевая кислота препятствует кристаллизации купороса и затрудняет процесс травления трансформаторных сталей.

Для выделения кремниевой кислоты из раствора соль кремниевой кислоты путем нейтрализации части кислоты известковым молоком переводится в гель, а затем при помощи вакуум-фильтрации вместе со шламом выводится из раствора. Последний поступает на купоросную установку.

Для удаления окалина с поверхности горячей полосы применяют травление в серной или в соляной кислоте, которое можно осуществлять периодически и непрерывно.

Периодическое травление применяют при подготовке листов к нанесению защитных покрытий (оцинкование). Агрегат карусельного типа расположен в небольшом отдельном помещении, сообщающимся с цехом только проемом, через который карты листов подаются только с поворотного стола в открытую ванну и возвращаются обратно. Для предотвращения выбивания паров ванны снабжены бортовым отсосом и передувом паров (воздушной завесой).

Для передув паров рекомендується застосовувати вентилятори високого тиску (5 – 10 кПа), при якому значно скорочуються габарити сдуваючого пристрою. При цьому швидкість повітря в відкритому проємі приміщення повинна бути не менше 1 м/с.

В агрегатах неперервного травлення полоса проходить чотири травильні ванни со щелочним розчином і водою і сушку гарячим повітрям, після чого сматывається в рулоны. При відсосі від однієї ванни 1200 м<sup>3</sup>/ч повітря унос серної кислоти з парами води склав 7 кг/ч, т.е. близько 3 % в сутки. Для зменшення цих виділень ванни забезпечують подвійними кришками і гідравлічними затворами у бортов. Значно скорочують випаровування і унос травильного розчину піноутворюючі добавки.

Суммарна кількість повітря, відсасуваного від агрегата неперервного травлення, становить 14000 – 18000 м<sup>3</sup>/ч. Середнє вміст кислоти в повітрі 2,5 – 2,7 г/м<sup>3</sup>.

Для очищення газів від парів кислот застосовують пенні апарати, забезпечуючі високу ступінь очищення від хімічних домішок (95 – 99 %). Однак навіть при цій ступені очищення залишкове вміст кислот в повітрі становить 0,05 г/м<sup>3</sup>, що значно перевищує санітарну норму.

Для промивки повітря в пенному апараті використовують слабодокислену воду промивної ванни з вмістом 12 – 16 г/дм<sup>3</sup> кислоти. Після промивки вміст кислоти в воді зростає до 19 – 20 г/дм<sup>3</sup> і вода направляється на регенераційну установку.

На одному підприємстві успішно застосовується абсорбційна очищення газів ванн травлення виробів з нержавіючої сталі вапняним молоком в полних швидкісних скрубберах. Основні технічні показники установки:

Витрата газу на 1 абсорбер, тис м <sup>3</sup> /ч t газів, °С	235
t газів, °С	25 - 30
Вміст NO <sub>x</sub> , мг/м <sup>3</sup>	80 - 300
Вміст туману кислот, мг/м <sup>3</sup>	30 - 60
Діаметр абсорбера і каплеуловителя, м	4
Швидкість газу в абсорбері, м/с	5
Відносне зрошення газу, л/м <sup>3</sup>	3,5
Спротив системи, кПа	3,2 – 3,3
Концентрація взвеси в розчині, г/л	1,5 – 2,0



Степень поглощения $\text{NO}_x$ , %	< 80
Степень поглощения тумана кислот, %	95 - 98
За год очищает 800 тыс $\text{м}^3/\text{ч}$ .	

В ряде случаев для очистки газов, отходящих от ванн травления, используют волокнистые фильтры – туманоуловители, материал фильтра – лавсан., толщина слоя волокна – 10 мм.

В установках небольшой производительности иногда применяют адсорбционные методы очистки. Адсорберами могут служить синтетические и природные цеолиты, активированный уголь, силикогели, бетонитовые глины и др.

### **Контрольные вопросы:**

1. Какая очистка является перспективной для выбросов травильных ванн?
2. В результате чего образуются сточные воды в травильных отделениях?
3. На какую установку отправляют сточные воды, образующиеся при мытье полов травильных отделений, ванн, аппаратуры?
4. Где происходит отделение купорова от маточника?
5. Виды адсорберов.

### **Список рекомендуемой литературы:**

1. Защита водоемов от загрязнений сточными водами предприятий черной металлургии. Левин Г. М., Пантелют Г.С., Вайнштейн И.А., Супрун Ю. М., М., Металлургия, 1978, 216 с.
2. Охрана труда в прокатном производстве. Молчанова З. В., М., Металлургия, 1973, 248 с.
3. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. Старк С. Б.: Учебник для вузов. Изд. 2 – е, перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990, 400 с.
4. Юдашкин М. Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии. Изд. 2 – е, перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1984, 320 с.
5. Очистка производственных сточных вод: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по спец. «Водоснабжение и канализация» и «Очистка природных и сточных вод» / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. – М.: Строиздат, 1979. – 320 с., ил.

## Лекция № 23. Виды сточных вод трубопрокатных и прокатных цехов.

### 1. Сточные воды прокатных и трубопрокатных цехов

В прокатных цехах стальные слитки превращаются в изделия самого разнообразного профиля, являющиеся полуфабрикатом или окончательной продукцией металлургического завода (бюмы, слябы, балки, рельсы, сортовая сталь, листовая сталь, трубы, проволока, лента и др.). Технологический процесс разделяется на два основных цикла: предварительный нагрев слитков в печах или колодцах и прокатка нагретых слитков.

Загрязненные сточные воды в прокатных цехах получаются от охлаждения валков, шеек валков и подшипников, от смыва и транспортирования окалины, а также от охлаждения вспомогательных механизмов — пил, ножниц и др. В трубопрокатных цехах загрязненные сточные воды могут быть еще от гидравлического испытания труб.

Количество загрязненных сточных вод от прокатных станов на единицу продукции колеблется в широких пределах, в зависимости от типа установленного стана и вспомогательного оборудования, а также от сорта проката. Можно считать, что на 1 т прокатанного металла получается следующее количество загрязненных сточных вод, м<sup>3</sup>:

На заготовку и крупный сорт .....	2—6
- средний сорт .....	3—7
- листопрокат .....	4—6
- мелкий сортопрокат .....	8—15
- проволоку .....	Около 10
- катаные трубы .....	9—16 и более
- трубы, полученные холодным волочением .....	6—8

Температура сточных вод превышает температуру воды, подаваемой на прокатные станы, примерно на 5 град. Характерным загрязнением вод являются окалина и масло.

При прокатке предварительно нагретого металла на его поверхности образуется окалина, которая осыпается в сточные каналы, расположенные под станами, и уносится водой, стекающей с валков и подшипников; если этой воды недостаточно, то специально для

смыва окалины подают воду под напором. Смазочное масло поступает главным образом от вспомогательных механизмов.

Образующуюся окалину делят на крупную, оставшуюся под станом в яме (крупностью выше 10 мм); среднюю, вымываемую из ямы под станом и уносимую водой по дну канала (крупностью 10 мм и менее), и мелкую (крупностью менее 2 мм), находящуюся в воде во взвешенном состоянии. В среднем количество всей окалины (в процентах по массе прокатываемого металла) составляет для станов:

Заготовительных.....	3	Мелкосортных .....	4
Крупносортных .....	2	Проволочных .....	4
Среднесортных .....	3		

Количество мелкой и средней окалины (по отношению к общему количеству окалины), %, составляет для станов:

Заготовительных и крупносортных.....	10
Среднесортных и трубoproкатных.....	20
Мелкосортных .....	30

Абсолютное количество средней и мелкой окалины, уносимой водой из-под станов, колеблется в зависимости от типа их и прокатываемого сорта металла: от крупносортных в пределах 0,6—2,5 г/л; от среднесортных 0,6—1,5 г/л; от мелкосортных 0,2—0,65 г/л; от листoproкатных и трубoproкатных — до 0,3 г/л. Крупная окалина, как правило, улавливается в первичных отстойниках, расположенных в прокатных цехах. В среднем можно считать содержание окалины в воде, поступающей во вторичные отстойники; до 0,6 г/л, от среднесортных и листoproкатных 0,3—0,35 г/л, от мелкосортных и трубoproкатных 0,06—0,18 г/л. Нужно иметь в виду, что на некоторых заводах в одну и ту же канализацию поступает вода как от прокатных станов, так и от охлаждения нагревательных печей; при этом происходит разбавление воды от прокатных станов сточными водами от охлаждения печей примерно вдвое.

На трубных заводах первичных отстойников для улавливания окалины непосредственно в цехах может и не быть, а воду очищают в одном отстойнике, расположенном вне цеха. В цехах прокатки тонкого листа и жести, сточная вода от которых содержит от 0,01 до 0,24 г/л окалины, первичные отстойники не устраивают.

Химический состав окалины не одинаков и, по данным заводских лабораторий, в ней содержится: 33,5—65,5% FeO; 62,8—26,9% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 0,5—7,6% нерастворимых в соляной кислоте веществ (угля, песка и т. п.). Кроме окалины, сточные воды прокатных цехов содержат

некоторое количество масел: при установке на станах бронзовых подшипников в среднем 30—40 мг/л, текстолитовых до 10—30 мг/л, а периодически, при остановках станов на ремонт, и более.

В сточных водах от цехов прокатки тонкого листа и жести концентрация масла составляет около 10 мг/л.

В сточных водах от трубопрокатных цехов содержание масла значительно больше — от 38 до 170 мг/л; на Синарском трубном заводе содержание масла и нефтепродуктов в воде от одного из станов достигает 160—170 мг/л.

Водоснабжение прокатных станов устраивают только обратным; воду от нагревательных печей и колодцев нецелесообразно смешивать со сточной водой от станов, чтобы не разбавлять ее. При этом для сортопрокатных станов, как правило, устраивают в цехах первичные отстойники для улавливания крупной окалины; во вторичных отстойниках происходит улавливание остаточной окалины и масла. Исследования показали, что содержание масла в оборотной воде в количестве 10—50 мг/л никаких осложнений в работе системы водоснабжения и в работе самих станов не вызывает; наблюдается только отложение мелкой окалины и масла на внутренней поверхности водопроводных труб. Поэтому в воде, подаваемой на станы, содержание масла должно быть возможно меньше, в противном случае эти трубы необходимо чаще промывать водой с воздухом.

Для охлаждения очищенной оборотной воды применяют брызгальные бассейны или градирни с брызгальным оросителем.

При прокатке жести может применяться пальмовое масло или эмульсия (смесь из эмульсола, соды и воды) для смазки поверхности прокатываемых листов металла. Количество сточных вод от такого стана составляет 500—600 м<sup>3</sup>/ч.

При работе прокатного стана на пальмовом масле сточные воды загрязнены в основном маслом, концентрация которого в воде достигает 200—300 мг/л, и частично механической взвесью (окалиной). Учитывая сложность выделения пальмового масла из сточных вод, для них устраивают специальный цикл обратного водоснабжения с горизонтальным отстойником, при этом воду не смешивают с водой от других прокатных станов, не использующих пальмового масла. После отстойников в воде остается пальмового масла 50—100 мг/л. При возрастании этой концентрации производят освежение оборотной воды (продувку системы); сбрасываемую из системы воду допол-

нительно очищают от масла. Температура плавления пальмового масла низкая (25—30° С), поэтому улавливание его из воды затруднено.

При работе прокатного стана на эмульсии отработавшую загрязненную эмульсию в замкнутом цикле оборотного цикла очищают также в отстойнике и сбрасывают из системы периодически (один раз в 3—5 дней) в количестве, определяемом емкостью системы, составляющей 100 – 200 м<sup>3</sup>. При обеднении эмульсии в цикле ее заменяют свежей эмульсией. Отработавшую эмульсию очищают путем разделения ее добавляемой кислотой, в результате чего тяжелые частицы эмульсии выпадают в осадок. Воду, освобожденную от эмульсии, нейтрализуют известью.

В общий сток от прокатных цехов могут поступать загрязненные сточные воды от машин огневой зачистки металла. Количество этих сточных вод может быть значительным. Состав их еще недостаточно изучен.

### **Контрольные вопросы**

1. Загрязненные сточные воды в прокатных цехах.
2. Как делят образующуюся окалину?
3. Опишите химический состав окалины.
4. Почему улавливание пальмового масла из воды затруднено?

### **Список рекомендуемой литературы**

1. Шабалин А. Ф. Очистка и использование сточных вод на предприятиях черной металлургии. Металлургия, 1968. 508 с.
2. Старк С. Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. М. Металлургия. 1990.
3. Фарфоровский Б. С., Пятов Я. Н. Проектирование охладителей для систем производственного водоснабжения. Госстройиздат. 1960.
4. Диомидов Б. Б., Технология прокатного производства. М. Металлургия 1979. 488 с.

## **Лекция 24. Первичные отстойники прокатных и трубопрокатных цехов.**

1. Прокатные и трубопрокатные цехи
2. Первичные отстойники

От прокатных и трубопрокатных цехов, а также на метизных заводах отходят сточные воды двух видов: 1) незагрязненные воды от охлаждения нагревательных печей и колодцев, воздухо- и маслоохладителей, охлаждения электрического оборудования; 2) воды, загрязненные окалиной и маслом, от прокатных станов (от охлаждения подшипников и валков и от гидравлического смыва окалины). Загрязненные воды, содержащие окалины более 300 мг/л, поступают сначала в цеховые первичные отстойники (ямы для окалины) для осаждения крупной окалины, затем перекачиваются (или поступают самотеком) на вторичные отстойники, расположенные вне цеха и предназначенные для выделения из воды мелкой окалины и масла. В трубопрокатных и других цехах, сточные воды которых содержат окалины менее 300 мг/л, первичных цеховых отстойников не делают, вода поступает непосредственно во внецеховые отстойники.

В сточные воды от прокатных станов могут поступать стоки от машин огневой зачистки металла. Количество их может быть значительным, но состав их и кинетика осаждения еще недостаточно изучены. По-видимому, целесообразно будет очищать эти стоки на самостоятельных сооружениях или совместно со стоками от вентиляционных установок.

Необходимость очистки сточных вод от прокатных цехов в две ступени и выделения крупной окалины в первичных отстойниках наглядно видна из табл. 1. Исследования степени очистки сточных вод прокатных станов (крупносортового, среднесортного и мелкосортного) на Донецком и Макеевском металлургических заводах показывают, что при довольно высокой степени выделения из воды взвешенных веществ (в основном окалины) на первичных отстойниках (до 95—85%) в воде после этих отстойников содержится взвеси все же до 120 мг/л. В то же время при наличии двухступенчатой очистки, т.е. первичных и вторичных отстойников, например на Челябинском металлургическом заводе и Магнитогорском металлургическом комбинате; для одинаковых прокатных станов при задержании в первичном отстойнике взвеси в количестве 68—75% содержание ее в воде после вторичных отстойников не превышает 55—65 мг/л. На трубных заводах и при прокатке жести необходимость в первичном отстойнике отсутствует, что видно на примере Северского и Первоуральского Новотрубного заводов.

Таблица

Степень очистки от окислы и масла в горизонтальных отстойниках сточных вод от прокатных и трубопрокатных цехов

Предприятие	Продукция	Наличие первичного отстойника	Длина исследуемого отстойника, м	Горизонтальная скорость воды, м/сек	Содержание окислы в воде			Содержание масла в воде			Примечание
					до отстоя, мг/л	после отстоя, мг/л	% улавливания	до отстоя, мг/л	после отстоя, мг/л	% улавливания	
Донецкий металлургический завод	Крупный, средний и мелкий сорт	Нет	—	—	640—1400	До 120	95	—	—	—	Исследование на улавливание масла не велось
Макеевский металлургический завод	То же	—	30	—	670—800	До 120	85	—	—	—	
Целябинский металлургический завод	» »	Есть	18	5	48—217	16—56	68	10—34	10—34	0	Устройств для улавливания масла нет
Енакиевский металлургический завод	» »	»	—	—	60—360	До 68	80	108	8—50	74	
Магнитогорский металлургический комбинат	Лист тонкий	»	18	—	До 258	9—65	75—99	Следы	Следы	0	То же
Северский трубный завод	Лист тонкий и жест	Нет	18	5	10—150	6—54	40—64	0—36	0—14	61	
Первоуральский Ноготрубный завод	Трубы стальные	»	18	5	33—264	5—38	85	38—142	38—100	0—30	

Первичный отстойник сточных вод от прокатных станов представляет собой железобетонный резервуар длиной 16 м и более, шириной 4 м, заглубленный в грунт до 10 м и более; располагается он в скрапном пролете цеха. Очистку отстойника от окалины и погрузку ее на вагоны можно производить грейфером, подвешиваемым к мостовому крану на время очистки отстойника.

Основной, частью первичного отстойника по новому типовому проекту Гипромеза (рис. 53) является осадочная камера 1, в которую сточная вода от прокатных станов поступает по тоннелю 2. Осветленная в отстойнике вода по лотку 3 перетекает в водораспределительную камеру 4, из которой насосами 5, расположенными в машинном зале 6, перекачивается на вторичные отстойники. Осадок из камеры 1 периодически перемещается в бункер 7 для обезвоживания окалины; вода от обезвоживания сливается через окна 8 в осадочную камеру 1; обезвоженная окалина из бункера 7 погружается в вагоны и отвозится на агломерационную фабрику или непосредственно на рудный двор для использования в шихте доменных печей.

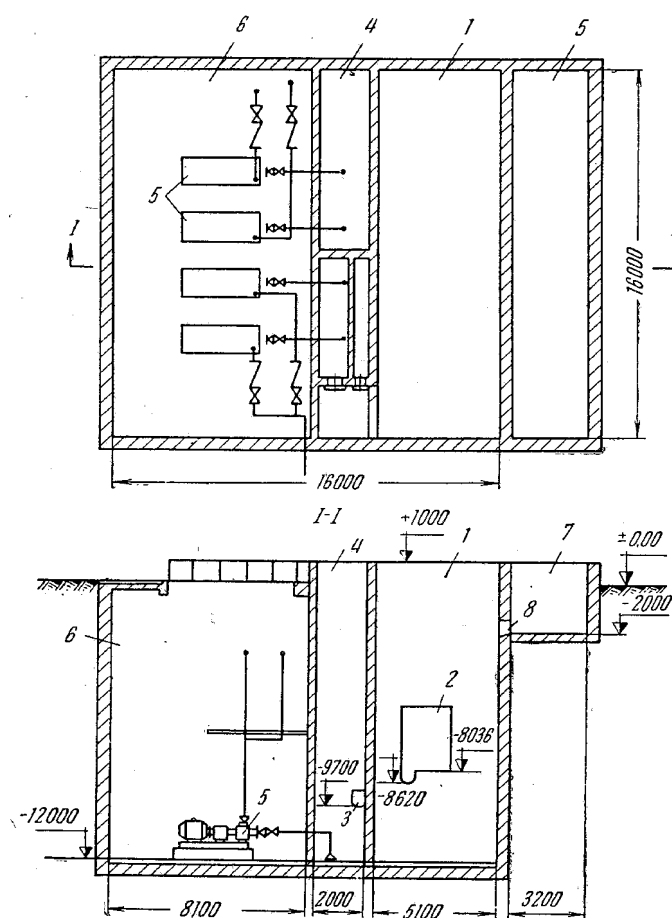


Рисунок 53. Первичный отстойник окалиносодержащих сточных вод с удалением осадка грейфером



Размеры отстойника определяют исходя из объема, необходимого для пребывания сточной воды в отстойнике в течение 1 – 1,5 мин, и скорости движения воды 0,10 – 0,15 м/сек.

Объем осадочной части отстойника должен быть равным объему выделяемой из сточной воды окалины в продолжение не менее одних суток.

Количество окалины, уносимой с водой в отстойник, принимают около 2% от массы проката; в первичном отстойнике из воды выпадает примерно 90% окалины, или  $g = 18$  кг на 1 т прокатываемого металла. Объемная масса окалины около  $3 \text{ т/м}^3$ .

Вода поступает в отстойник по всей его ширине через щель (под уровень воды). Скорость воды в щели около 0,3 м/сек, а на водосливной стенке на выходе около 0,15 м/сек.

Окалину выгружают из отстойника сначала в бункер емкостью, соответствующей двух- трехдневному количеству окалины, а затем, после обезвоживания, окалину грузят на железнодорожные платформы и отвозят для использования, в шихте доменного цеха или агломерационной фабрики.

Среди некоторых проектировщиков обсуждается вопрос о применении для улавливания крупной окалины гидроциклонов вместо первичных отстойников с использованием затем воды на смыв окалины из-под станков. Однако такая схема очистки воды может оказаться более сложной, чем применяемая в настоящее время.

Угол естественного откоса окалины, задержанной в первичном отстойнике, около  $52^\circ$ . Средняя влажность окалины после трехдневного нахождения ее в бункере 6—7%.

В первичных отстойниках задерживается от 74 до 90% окалины при условии своевременной очистки их от осадка.

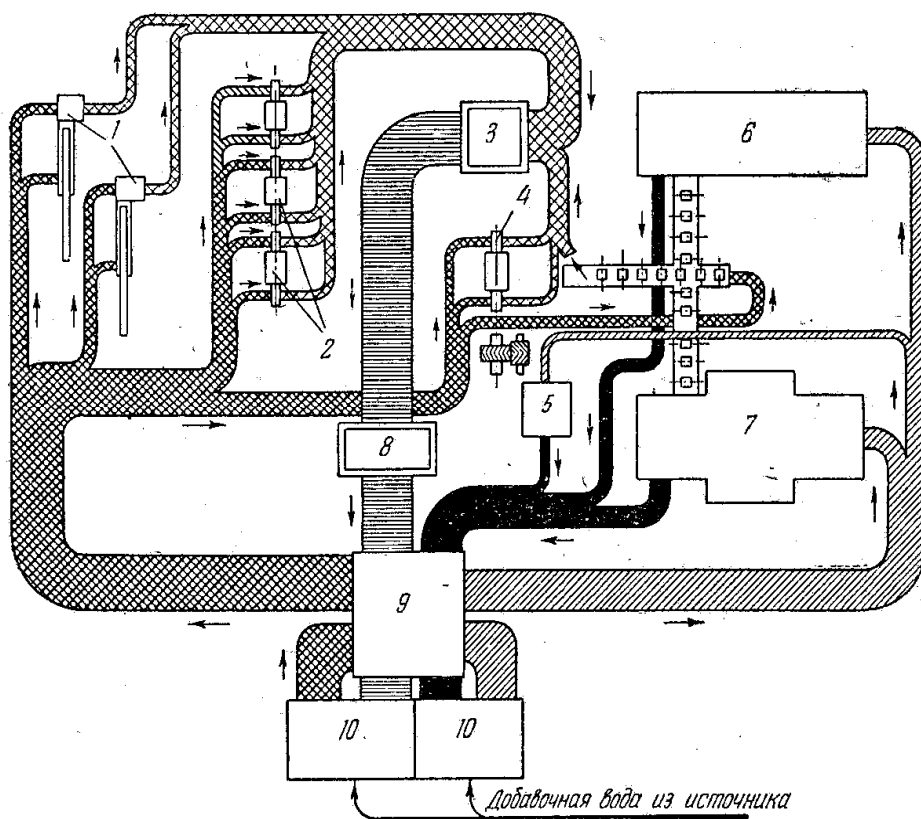
Во всех новых и реконструированных прокатных и трубопрокатных цехах устраивают отдельные системы оборотного водоснабжения для охлаждения оборудования нагревательных колодцев и печей и для прокатных станов (рис. 54). При этом незагрязненные воды подвергают только охлаждению, а воды, загрязненные окалиной и маслом, — отстаиванию и затем охлаждению. В некоторых случаях часть воды дополнительно осветляется фильтрованием.

Устройство прямоточных систем водоснабжения прокатных цехов не допускается.

При испарительном охлаждении нагревательных печей целесообразно иметь один общий замкнутый цикл водоснабжения.

С заменой бронзовых подшипников валков прокатных станов масляной смазкой текстолитовыми подшипниками с водяной смазкой количество масла в сточных водах уменьшилось, однако не исключено поступление его от смазки рольгангов и другого оборудования.

Наличие в воде окалины вызывает механический износ шеек валков и текстолитовых вкладышей подшипников и, следовательно, более частые остановки станов для замены вкладышей, перевалки валков и проточки их шеек. Наличие в воде масла допустимо лишь в определенных пределах ввиду того, что в нем всегда содержатся частицы металла, различные волокна, которые забивают отверстия в оросительных трубках прокатных станов; масло и волокна, прошедшие через трубки, сгорают на раскаленном металле.



- 1 – ножницы; 2 – прокатные клетки; 3 – первичный отстойник (яма для окалины); 4 – обжимная клеть; 5 – маслоохладитель; 6, 7 – нагревательные печи; 8 – вторичный отстойник; 9 – насосная станция оборотной воды; 10 – охладитель оборотной воды.

Рисунок 54. Схема оборотного водоснабжения прокатного цеха:

Кинетика выпадения осадка из сточных вод от прокатных и трубопрокатных станов зависит от количества и характера взвешенных веществ (окалины), содержащихся в воде; количество окалины в свою очередь находится в зависимости от величины нагреваемого слитка, типа стана, вида и режима прокатываемой продукции. Кинетика всплывания масла также зависит от его концентрации в воде.

### **Контрольные вопросы:**

1. Каких двух видов отходят сточные воды от прокатных и трубопрокатных цехов?
2. Что является основной частью первичного отстойника по новому типовому проекту Гипромеза?
3. При каком условии в первичных отстойниках задерживается от 74 до 90% окалины ?
3. Что вызывает наличие в воде окалины?

### **Список рекомендуемой литературы**

1. Шабалин А. Ф. Очистка и использование сточных вод на предприятиях черной металлургии. Металлургия, 1968. 508 с.
2. Старк С. Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. М. Металлургия. 1990.
3. Фарфоровский Б. С., Пятов Я. Н. Проектирование охладителей для систем производственного водоснабжения. Госстройиздат. 1960.
4. Диомидов Б. Б., Технология прокатного производства. М. Металлургия 1979. 488 с.

## **Лекция 25. Вторичные отстойники прокатных и трубопрокатных цехов**

### **1. Вторичные отстойники**

Концентрацию  $C_1$  взвешенных веществ в сточной воде от различных прокатных станов при поступлении ее на вторичные отстойники можно считать, г/л:

От заготовочных и крупносортовых .....	0,4
- среднесортных и трубопрокатных .....	0,25 – 0,3
- мелкосортных и тонколистовых .....	0,15 – 0,18
Общий сток от заготовочных и сортопрокатных станов	0,3

Концентрация масла  $M_1$  в сточной воде, г/л:

От всех типов прокатных станов:

с бронзовыми подшипниками..... 0,03—0,04

- текстолитовыми .....0,01—0,03

От трубопрокатных станов:

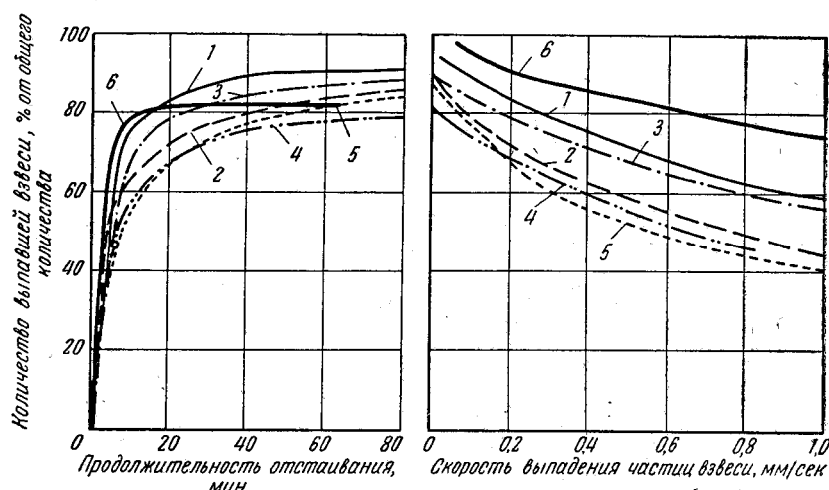
с бронзовыми подшипниками.....0,06—0,18

- текстолитовыми .....0,03—1,1

Количество взвеси  $p$ , которую необходимо выделить при очистке сточных вод, зависит как от ее концентрации  $C_1$  в исходной сточной воде, так и от содержания взвеси  $C_2$ , допустимой в очищенной воде, подаваемой потребителям:

$$p = \frac{C_1 - C_2}{C_1} 100 \%$$

Можно принимать для расчета вторичных отстойников концентрацию взвеси  $C_2$  в очищенной воде, подаваемой на заготовочные крупносортовые станы, равной 0,08 г/л; на среднесортные и тонколистовые станы 0,05 г/л; при общей подаче воды на заготовочные и сортопрокатные станы 0,06 г/л. Концентрация масла в очищенной и подаваемой потребителям воде должна быть для всех прокатных станов с бронзовыми подшипниками равной 0,01—0,015 г/л и с текстолитовыми подшипниками 0,02—0,03 г/л; трубопрокатных станов с бронзовыми и текстолитовыми подшипниками 0,03—0,05 г/л..



1 – блюминга 1000; 2 – среднесортных; 3 – трубопрокатного 400; 4 – трубопрокатного 140 (трубы мелких диаметров); 5 – листопрокатного; 6 – крупносортовых

Рисунок 55. Кинетика процесса выпадения взвеси из сточных вод

(после первичных отстойников) от станов:

Количество выделяемой взвеси (окалины) из сточных вод различных станов должно быть, %:

- От заготовочных и крупносортовых ..... 85
- среднесортных и трубопрокатных ..... 75—80
- мелкосортных и тонколистовых ..... 70—75

При совместной очистке смеси сточных вод от заготовочных и различных сортопрокатных станов количество выделяемой взвеси, можно принимать равным 80%.

Как видно из кривых рис. 3, кинетика процесса выпадения осадка из сточных вод от различных прокатных станов после" первичных отстойников далеко не одинаковая. Однако основная масса взвешенных веществ (окалины) выпадает в течение 30—40 мин и около 10— 15% общего количества их остается в воде в течение нескольких часов. Наличие этих весьма мелких частиц, а также масла обуславливает окраску воды, но не оказывает отрицательного влияния на работу прокатных станов. Наименьшая скорость выпадения осадка из сточных вод различных прокатных станов во вторичных отстойниках  $U_{min}$ , обеспечивающая требуемую степень очистки воды, может быть принята по кривым рис. 3, мм/сек:

- Для заготовочных и крупносортовых..... 0,5—0,3
- среднесортных и трубопрокатных ..... 0,3—0,2
- мелкосортных и тонколистовых..... 0,2—0,1

При общей совместной очистке сточных вод от заготовочных и различных сортопрокатных станов наименьшая скорость выпадения осадка равна 0,3—0,2 мм/сек.

В общий сток прокатных цехов могут поступать загрязненные сточные воды от машин огневой зачистки металла; в этом случае они очищаются совместно. В последующем может оказаться целесообразной очистка сточных вод от машин огневой зачистки металла в самостоятельных сооружениях или совместно со стоками от вентиляционных установок.

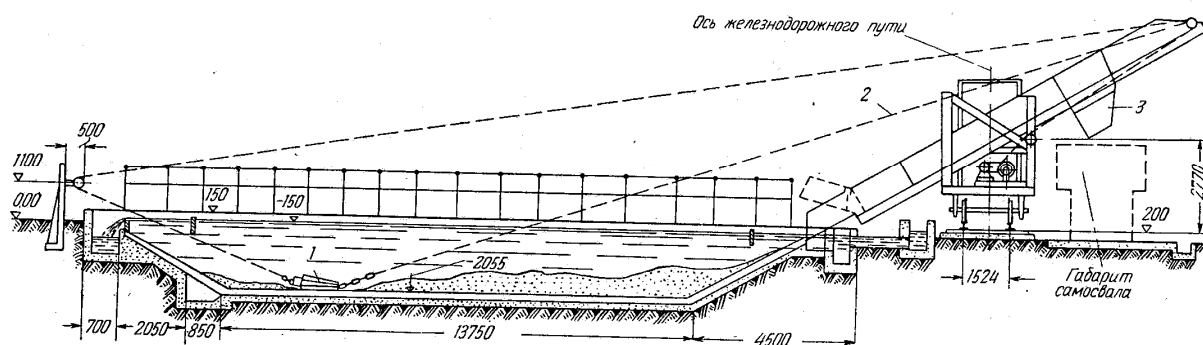
Масло из сточных вод выделяется при отстаивании, причем большая часть его довольно быстро всплывает на поверхность воды, а некоторая часть, находящаяся в мелкодисперсном состоянии, остается в воде и почти не отделяется. Значительная часть масла оседает в отстойнике вместе с окалиной.

Осадок из вторичных отстойников, содержащий до 82% железа (окалину), используют в шихте агломерационных фабрик. Задер-

жанное масло регенерируют (в основном обезвоживанием) и используют как смазочное в смеси со свежим маслом или в качестве топлива в мартеновских или других печах. Масштабы этих отходов велики; только на Челябинском металлургическом заводе за 1965 г задержано в отстойниках окалины 12 тыс. *t* и масла 165 *t*.

Вторичный отстойник конструкции Гипромеза для очистки сточных вод прокатного цеха на малую производительность представляет собой железобетонный резервуар, обычно заглубленный в грунт до верха стенок. Осадок из отстойника удаляют окрепером при помощи лебедок, расположенных на передвижных платформах по обеим торцовым сторонам отстойника, или окалиноуборочной машиной (рис. 4).

Выгрузка осадка из секций отстойника поочередно передвижной канатоблочной скреперной лебедкой, применяемая на некоторых заводах, оказалась малопродуктивной и трудоемкой, так как ковш скрепера скользит по поверхности хорошо уплотненного и вязкого осадка (окалина с маслом) и захватывает лишь тонкий верхний слой.



1 – скрепер; 2 – трос тяговый; 3 – бункер

Рисунок 56. Отстойники малой производительности (до 500 м<sup>3</sup>/ч) для очистки сточных вод прокатного цеха с окалиноуборочной машиной

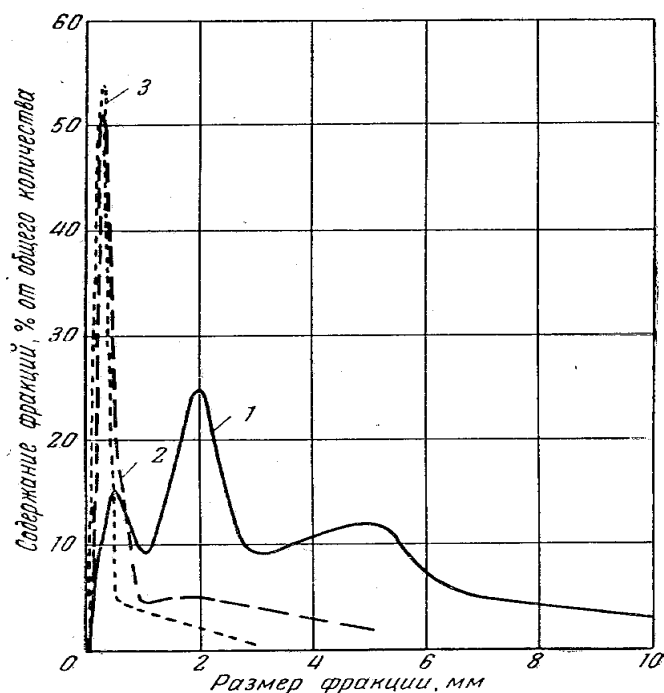
Окалиноуборочная машина передвигается по железнодорожному пути вдоль торца секций отстойника. Осадок из отстойника выгружают также скрепером с подъемом его по наклонному мосту, опертому на тележку, в приемный бункер, а из последнего подают в кузов автосамосвала или на железнодорожные платформы. Тяга скрепера

— тросовая, действующая через двухбарабанную лебедку, установленную в тележке и приводимую в действие электродвигателем.

Отстойник состоит не менее чем из трех секций; одна из них находится в работе, во второй обезвоживается осадок, а из третьей идет выгрузка осадка. Глубина проточной части  $H_{\text{прот}} = 1$  м, осадочной части  $H_{\text{ос}} = 1$  м и запас над уровнем воды  $H_{\text{зап}} = 0,25$  м.

Результаты проведенного за последнее время изучения гранулометрического состава окалина, выпавшей во вторичных отстойниках, приведены на рис. 5. Наиболее крупной (и неоднородной) оказалась окалина от сортопрокатных станов (кривая 1), наиболее мелкой (и неоднородной) — окалина от листопрокатных и трубопрокатных станов (кривые 2, 3).

Исследования показывают также, что основное количество взвеси из сточных вод прокатных цехов выпадает в начале вторичного отстойника, на расстоянии 3—5 м от входа воды. Это привело к разработке конструкции отстойников с прямками, в которых накапливается наибольшее количество окалина, удаляемое периодически, примерно два раза в год. Осадок из прямки отстойника удаляют грейфером автомобильного, железнодорожного, portalного или козлового крана.



1 — сортопрокатных; 2 — листопрокатных; 3 — трубопрокатных

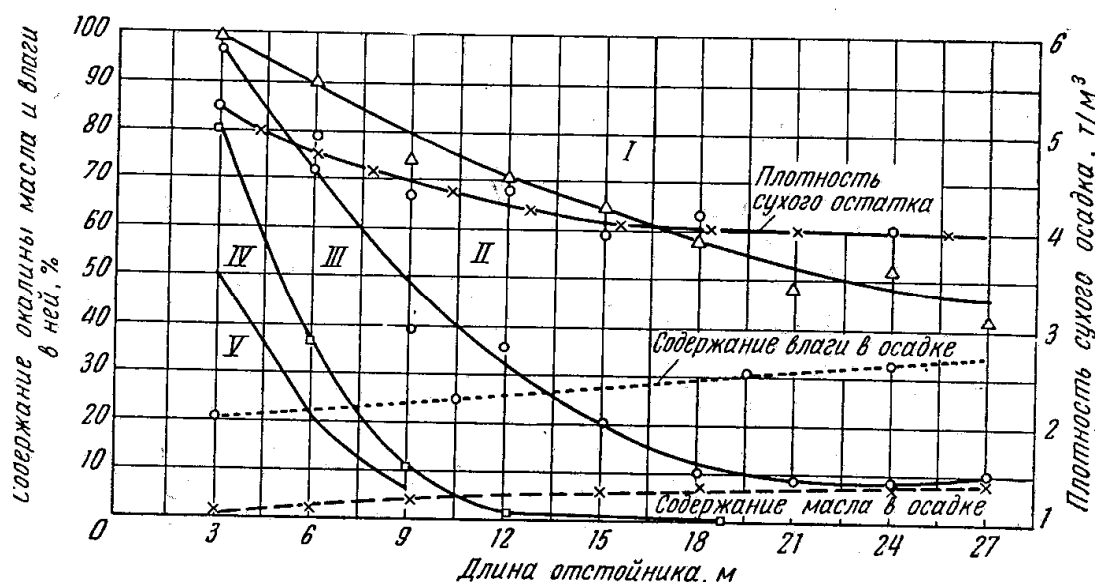
Рисунок 57. Гранулометрический состав окалина, выпавшей во вторичных отстойниках сточных вод от станов:

Для того чтобы окалина не осаждалась в лотках, подводящих сточную воду в отстойники, скорость движения воды в них принимают в зависимости от крупности окалины следующей, м/сек:

- От крупносортовых станов.....2,5
- среднесортных .....1,5—1,7
- мелкосортовых, листопрокатных и трубопрокатных станов .....1,2

В то же время во избежание истирания стенок скорость в бетонных и кирпичных каналах следует принимать не более 2,5 м/сек.

Из рис. 6 видно, что осадок в отстойнике состоит из частиц различной крупности. Как показали исследования отстойника на одном металлургическом заводе, отложившиеся частицы на протяжении первых 9 м длины отстойника в количестве, до 90% имеют крупность свыше 0,16 мм, от середины и до конца отстойника осадок состоит преимущественно (до 80%) из мелких частиц крупностью от 0,01 до 0,05 мм. Из рис. 6 следует, что для осаждения тяжелой взвеси из сточных вод от прокатных и трубопрокатных цехов, предварительно прошедших первичные отстойники, длина вторичных отстойников должна быть порядка 17—18 м.



I – V – соответственно частицы размером: меньше 0,01; 0,05 – 0,01; 0,16 – 0,05; 0,3 – 0,16 и больше 0,3 мм

Рисунок 58. Гранулометрический состав окалины, отлагающейся по длине отстойника, а также изменение содержания влаги и масла в этой окалине



На рис. 59 показан типовой вторичный отстойник конструкции Гипромеза большой производительности. Сточная вода лотками 1 подводится в водораспределительный лоток 2 отстойника, а из него через щель 3 поступает в отстойник. На пути движения воды у поверхности установлен полупогруженный щит 4 с отверстиями, способствующий более равномерному распределению потока воды. В конце отстойника расположен также полупогруженный щит 6 для задержания всплывшего на поверхность воды масла. Осветленная вода из отстойника переливается через водосливную кромку 7 и собирается в лотке 8, далее вода отводится по лоткам 9 к насосной станции оборотной воды.

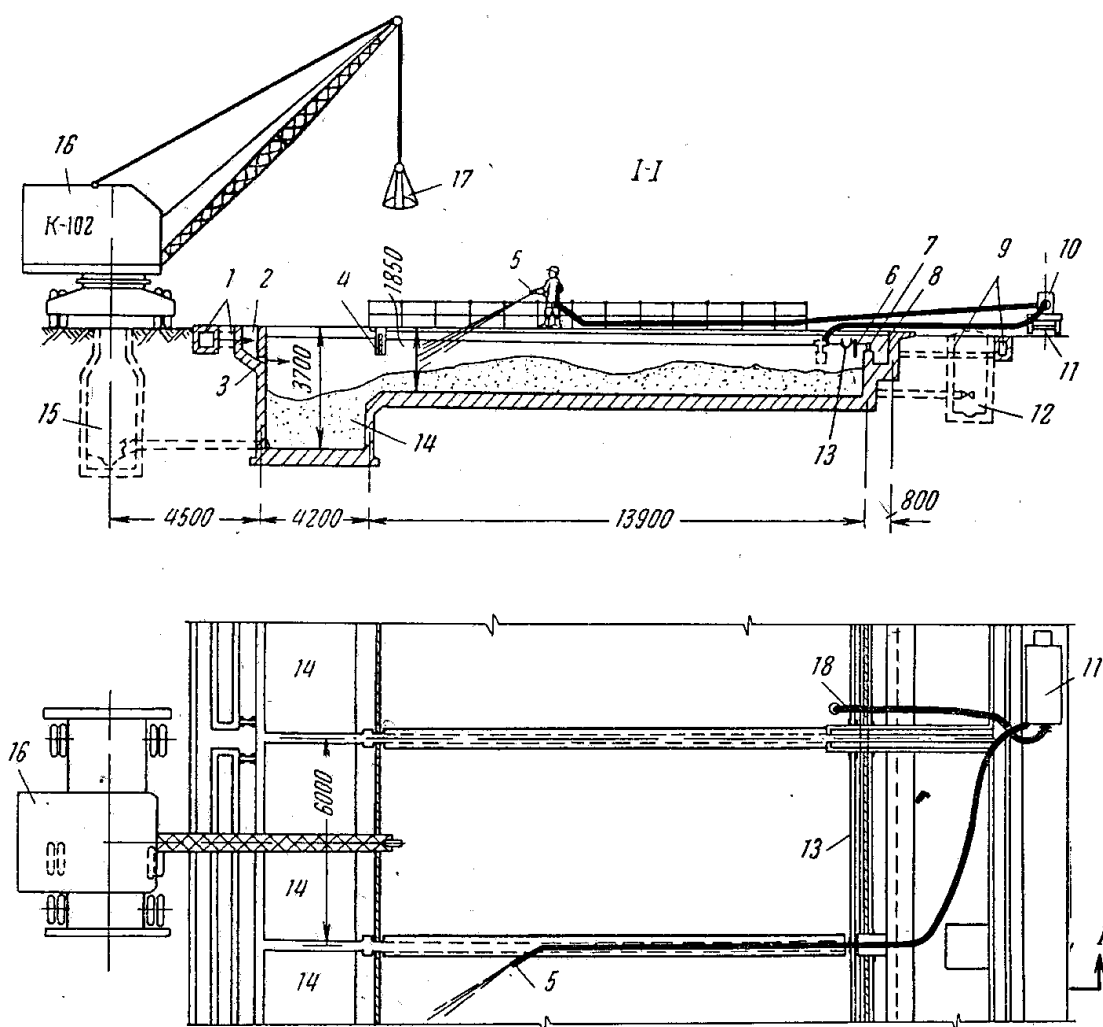


Рисунок 59. Вторичный отстойник производительностью до 2000 м<sup>3</sup>/ч для очистки сточных вод прокатных цехов

Всплывшее на поверхность воды масло удаляется из отстойника через щелевую поворотную трубу 13.

Осадок со дна опорожненного отстойника струей воды из брандспойта 5 под напором, создаваемым насосом 10, сбивается в приямок 14, откуда грейфером 17 автомобильного (или железнодорожного) крана 16 удаляется на автосамосвалы или железнодорожные платформы. Вода при опорожнении отстойника перекачивается насосом в соседнюю секцию, а оставшаяся выпускается в колодцы 12 и 15, а из них в канализацию. Насосная установка перемещается вдоль торцевой стороны отстойника на тележке (автокаре) 11. Вода для сбива осадка в приямок забирается насосом через гибкий шланг 18 из рядом расположенной, работающей секции отстойника.

Для очистки еще больших количеств сточных вод от прокатных цехов предусматривается устройство отстойников такого же типа. Однако в этом случае для удаления осадка из отстойника можно применять вместо автомобильного или парового путевого грейферного крана порталный грейферный кран (рис. 60). Портальный кран работает от электропривода, он более производительен, но требует более сложных и дорогих сооружений.

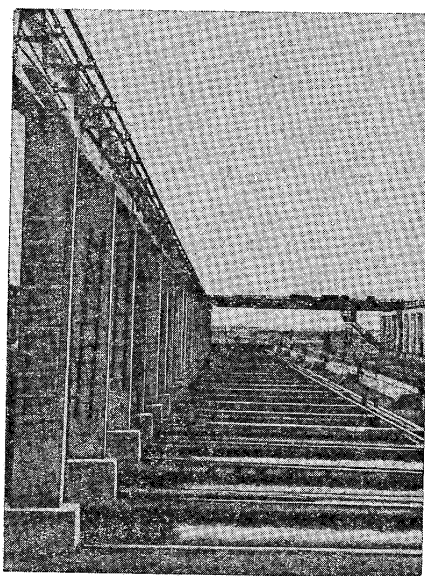
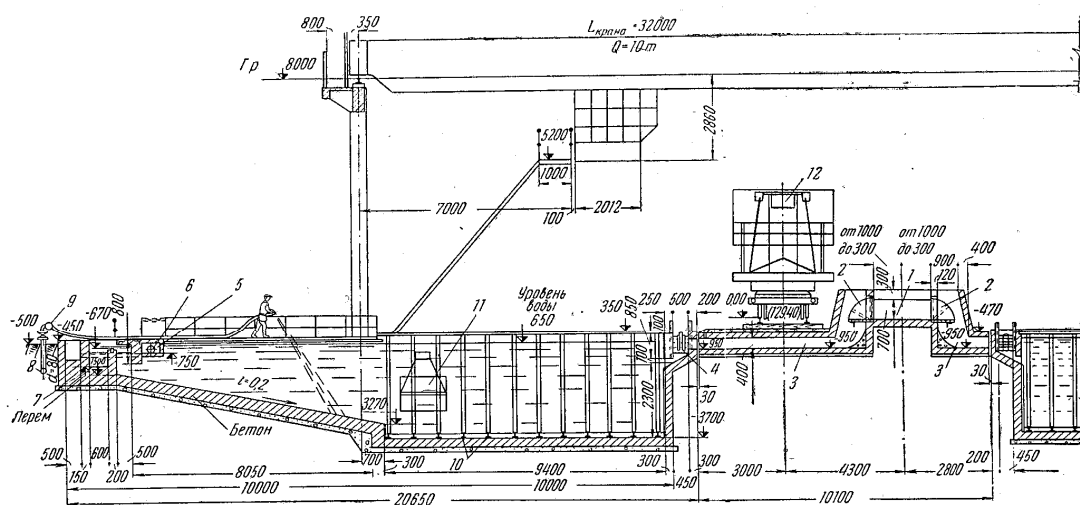


Рисунок 60. Общий вид вторичного отстойника сточных вод прокатных цехов с удалением осадка порталным краном с грейфером

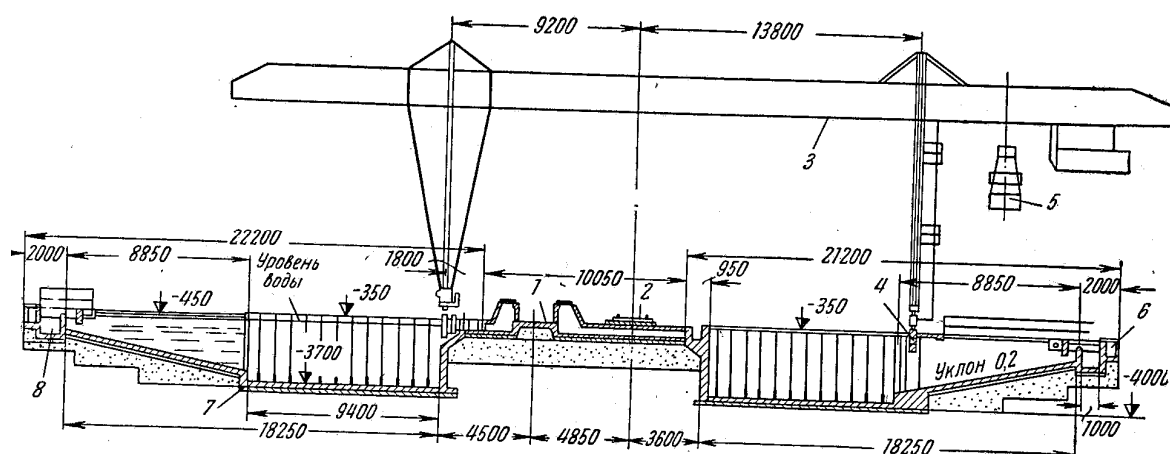
Устройство вторичного отстойника сточных вод от прокатных цехов в условиях северного района показано на рис. 9, он отличается от обычных отстойников увеличенной камерой для накапливания осадка в продолжение длительной зимы с удалением осадка грейфером порталного крана. Наиболее удобным в практике эксплуатации считается отстойник с козловым краном (рис. 10); в этом отстойнике наилучшим способом решается задача сбива осадка

в прямом водой, циркулирующей в той же камере, с помощью насоса на рабочей тележке, а также сбора масла и отвод его из отстойника.



1 – водораспределительный лоток; 2 – водорегулирующий затвор;  
3 – водопроводящий лоток; 4 – шибер; 5 – маслоприёмный лоток;  
6 – маслоотводная труба; 7 – водоотводящий лоток; 8 – трубопровод  
напорной воды; 9 – гибкий шланг с полугайкой Рота; 10 – рельсы, защищающие  
бетон; 11 – грейфер; 12 – железнодорожный вагон

Рисунок 61. Вторичный отстойник производительностью более 2000 м<sup>3</sup>/ч с удалением осадка порталным краном с грейфером



1 – водоподводящий канал; 2 – железнодорожный путь; 3 – козловой кран; 4 –  
труба для перепуска масла; 5 – грейфер; 6 – канал для отвода масла; 7 – старые  
узкоколейные рельсы; 8 – канал отвода осветлённой воды

Рисунок 62. Вторичный отстойник сточных вод прокатных цехов с удалением осадка козловым краном с грейфером:

При устройстве вторичного отстойника, состоящего из многих секций, важное значение имеет подвод и распределение воды по секциям горизонтального отстойника: в первых секциях по потоку воды выпадает осадка очень много, в более дальних секциях — очень мало. Во избежание этого поступающую воду распределяют сначала по группам секций отстойников, а затем по отдельным секциям каждой группы. При этом деление потока воды должно быть под тупым (а не прямым) углом и в водоподводящих лотках не должно быть порогов.

В отстойнике конструкции Ленинградского отделения Союзводоканалпроекта, примененном на Новолипецком металлургическом заводе, распределение сточной воды по секциям осуществлено трубами (рис. 63). Водоподводящая труба расположена в проходном тоннеле. От нее на каждую секцию устроен отвод с задвижкой, расположенной на вертикальном участке во избежание засорения пазов окалиной. В кармане отстойника отвод разделяется двумя коленами с тремя или четырьмя выпусками воды (рис. 12). Из кармана вода в секцию проходит через щель в стенке и равномерно распределяется по всему сечению потока от входа до противоположной стороны отстойника.

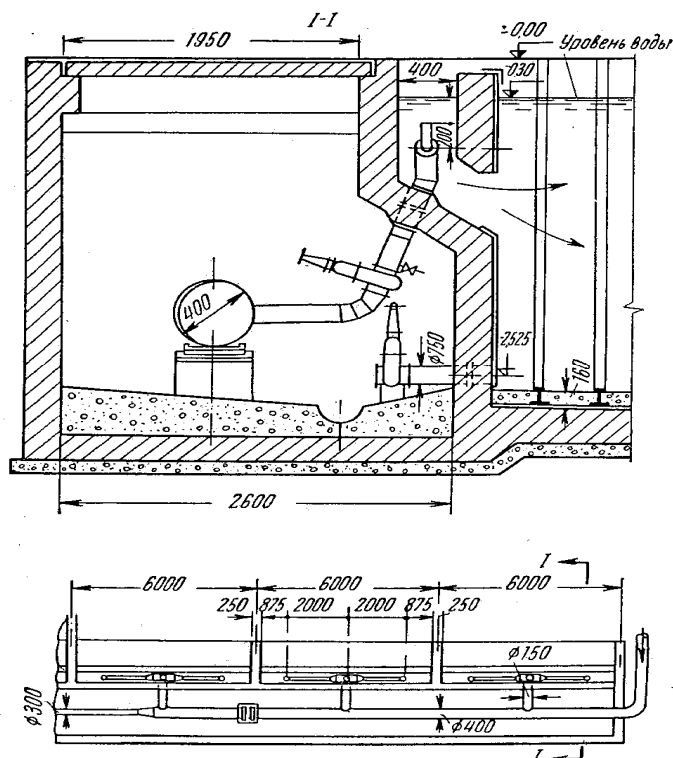


Рисунок 63. Распределение воды в отстойнике с помощью трубы отвода и выпусков

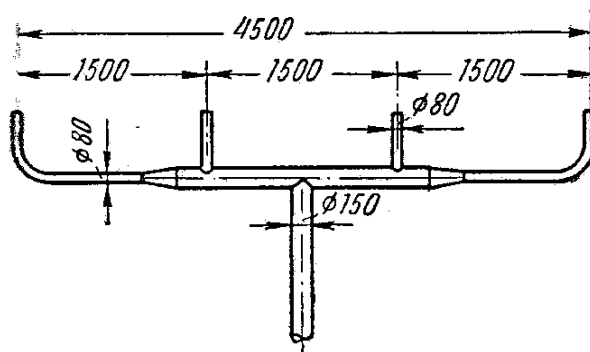
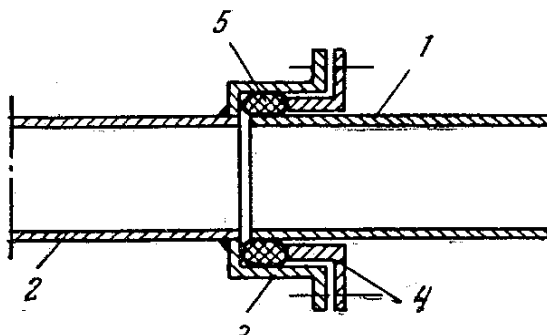


Рисунок 64. Устройство трубчатого впуска воды в секцию отстойника, рекомендуемого Харьковским Водоканалниипроектм сальниковая



1 – щелевая поворотная труба  $d = 200\text{мм}$ ; 2 – маслоотводная труба; 3 – приварной раструб; 4 – грундбукса; 5 – набивка из промолотого пенькового каната

Рисунок 65. Сальниковое уплотнение стыков маслосборных труб

Основным устройством маслоулавливающей системы является масло-задерживающий щит и щелевая поворотная труба, расположенные у выхода воды из секции отстойника. Для уборки собравшегося масла трубу поворачивают (специальной штангой с винтовой нарезкой) до погружения щели под слой масла. Собравшееся в щелевой трубе масло перепускается в маслоотводящий лоток и по нему поступает в резервуар или в специально оборудованные маслосборные секции.

Сальниковое уплотнение, позволяющее легко поворачивать маслосборную трубу и обеспечивающее достаточную герметичность, показано на рис. 13; сальниковой набивкой служит промасленная пенька. Для обогрева масла в щелевой трубе, лотке и маслоприёмной секции расположен паропровод.

В некоторых действующих отстойниках вместо поворотной щелевой трубы устроен плавучий маслосборник – лоток.

Обычно вторичные отстойники рассчитывают на улавливание из воды тонущего осадка (окалины) и производят поверочный расчет размеров отстойника, которые обеспечивали бы также улавливание всплывающих примесей – масла и нефтепродуктов.

В выгружаемом из вторичных отстойников сухом осадке содержится не менее 70% железа. Поэтому и этот осадок, так же как осадок из первичных отстойников, отправляют на агломерационные фабрики.

Плотность сухого осадка в начале отстойника Макеевского завода (при отсутствии первичного отстойника), прокатывающего крупный, мелкий и средний сорт, составляет более  $5 \text{ т/м}^3$  и в конце отстойника снижается до  $4 \text{ т/м}^3$  и менее. В других случаях (при наличии первичного отстойника сточных вод) плотность осадка меньше и может быть принята (сухого/влажного),  $\text{т/м}^3$ :

Для крупносортовых станов.....	2,8/3,5
- среднесортных .....	2/2,5
- мелкосортовых, тонколистовых, проволочных и трубопрокатных станов .....	1,8/2,3

При использовании осадка из вторичных отстойников сточных вод от прокатных и трубопрокатных цехов на аглофабрике или в шихте доменных и сталеплавильных печей влажность его должна быть не более 12%. Влажность же удаляемого из вторичных отстойников осадка колеблется от 18 до 30% (см. рис. 6), т. е. превышает допустимую. Поэтому во избежание удаления такого осадка на отвалы необходимо устройство вблизи отстойников специальных обезвоживающих площадок. На ряде заводов применяют предварительную перевалку окалины из одной секции отстойника в другую с целью снижения влажности осадка.

При производстве тонкой жести холодной прокаткой листа на некоторых заводах применяют пальмовое масло. Концентрация его в сточных водах, по данным двух заводов, составляет 200—270 мг/л при общей концентрации тяжелых (осаждающихся) взвешенных веществ от 60 до 240 мг/л. Температура сточной воды (летом) 40—50° С, рН колеблется от 6,4 до 7,4.

Для очистки сточных вод от таких жестекатальных станов, состоящих из пяти клеток, использующих пальмовое масло, применяют удлиненные до 60 м горизонтальные отстойники, состоящие из двух-

трех секций с наземным зданием. Продолжительность пребывания воды в таком отстойнике до 2 ч. Всплывшее на поверхность масло сгоняется к маслосборному лотку специальным механизмом в виде движущейся ленты с планками. Осадок со дна отстойника сгребается к приемку стационарным скребковым механизмом, а из приемка удаляется периодически насосом.

Надежных данных по эксплуатации таких отстойников еще нет. Пальмовое масло улавливается в отстойниках в среднем на 40%, тяжелой взвеси осаждается 75%. При этом предъявляется довольно строгое требование, чтобы крупность взвешенных частиц, остающихся в очищенной оборотной воде, подаваемой на четвертую и пятую клетки, была не более 0,5 мм, а общая концентрация их не превышала 20 мг/л. К содержанию пальмового масла в оборотной воде строгих требований не предъявляется, однако оно не должно теряться со сбросной (продувочной) водой, количество которой принимается равным 5% от расхода оборотной воды.

Более глубокая очистка предварительно отстоенной воды от пальмового масла возможна коагулированием этой воды и последующим фильтрованием через зернистую загрузку слоем 0,8—1 м, состоящую из битого стекла с размером частиц 0,5—3 мм. Скорость фильтрования 5—6 м<sup>3</sup>/ч. Фильтр можно промывать очищенной водой со сбросом ее в начало отстойника. Однако эти рекомендации нуждаются в производственной проверке.

В связи со стремлением облегчить уборку осадка из отстойников возникает вопрос о возможности применения вместо горизонтальных прямоугольных отстойников радиальных отстойников, которые применяют для очистки сточных вод от доменной газоочистки.

В зарубежной практике (в Бельгии, Германии, Японии) широко применяют горизонтальные отстойники с шириной секции 12—20 м в которых имеется тележка с подъемным скребком для перемещения по дну осадка к приемку при ходе тележки вперед и для сгона масла в лоток при ходе тележки в обратном направлении.

Тележка передвигается по рельсам, уложенным на стенках секции отстойника, с помощью электродвигателя, питаемого энергией по гибкому кабелю на барабане; изменение направления движения тележки регулируется риверсом автоматически от концевого переключателя. Скребок также автоматически опускается на дно для перемещения осадка и поднимается кверху для сгона масла.

## **Контрольные вопросы:**

1. Где используют осадок из вторичных отстойников, содержащий до 82% железа?
2. Что имеет важное значение при устройстве вторичного отстойника, состоящего из многих секций?
3. Как ведет себя осадок после приямки из отстойника ?
4. При какой очистке смеси сточных вод от заготовочных и различных сортопрокатных станов количество выделяемой взвеси, можно принимать равным 80%?

## **Список рекомендуемой литературы**

1. Шабалин А. Ф. Очистка и использование сточных вод на предприятиях черной металлургии. Металлургия, 1968. 508 с.
2. Старк С. Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. М. Металлургия. 1990.
3. Фарфоровский Б. С., Пятов Я. Н. Проектирование охладителей для систем производственного водоснабжения. Госстройиздат. 1960.
4. Диомидов Б. Б., Технология прокатного производства. М. Металлургия 1979. 488 с.

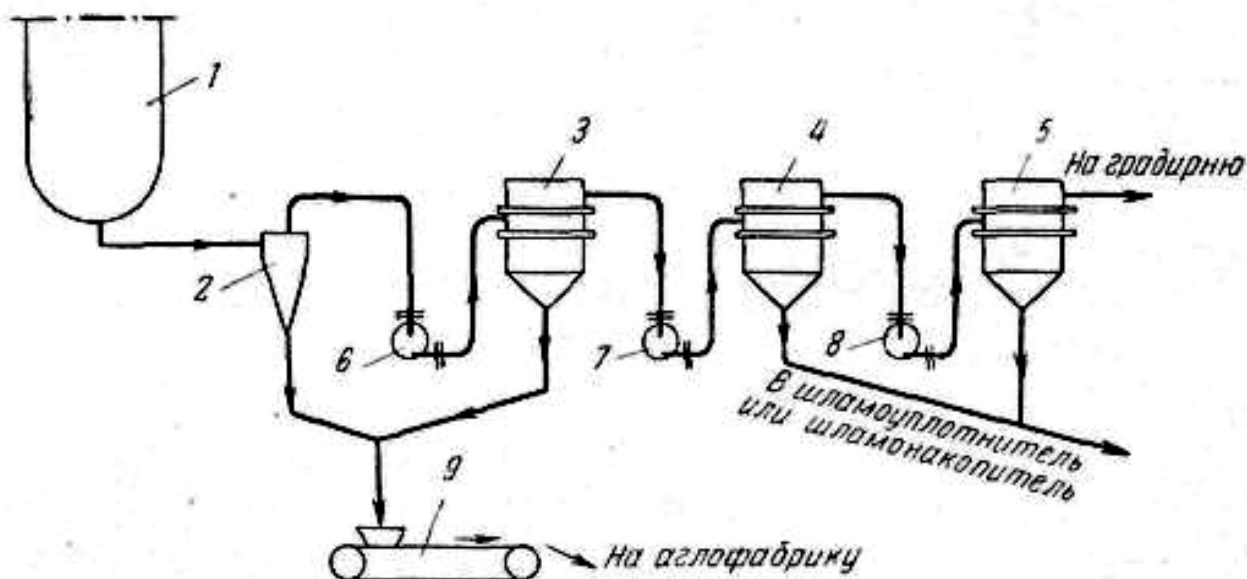
## **Лекция № 26. Очистка, охлаждение, осветление и фильтрование сточных вод от прокатных и трубопрокатных станов**

1. Применение гидроциклонов для очистки сточных вод от прокатных и трубопрокатных станов
2. Охлаждение оборотной воды
3. Дополнительное осветление воды фильтрованием
4. Очистка трубопроводов оборотной воды от отложений

Серьезные недостатки отстойников, применяемых для очистки сточных вод от прокатных и трубопрокатных цехов (занимаемая большая площадь, сложность удаления осадка и др.), привели к мысли о замене осаждения тяжелых частиц в воде выделением их из воды сепарацией с помощью гидроциклонов. На основании исследований, проведенных ВНИИ Водгео, выделение окалина из сточных вод от прокатных цехов рекомендуется производить с



помощью напорных гидроциклонов диаметром от 75 до 250 мм с компоновкой их в блоки по 50—100 аппаратов. Наиболее рентабельными признаны аппараты диаметром 75 мм.



1- скруббер, 2- первая ступень очистки воды в гидроциклонах диаметром 350-500мм., 3-5- вторая-четвертая ступени очистки воды в блоках гидроциклонов диаметром 75мм, 6-8- насосы второй-четвертой ступеней очистки воды, 9- ленточный вакуумный фильтр

Рисунок 66. Схема осветления сточной воды от доменной газоочистки

Первичные отстойники сточных вод прокатных станов, по-видимому, с успехом могут быть заменены открытыми гидроциклонами обычной конструкции с отводом воды через периферийный водослив. При этом, по данным испытаний ВНИИ Водгео, в таких гидроциклонах при очистке сточной воды от проката крупносортного металла можно задерживать окалину с гидравлической крупностью  $1 \text{ мм/сек}$  при нагрузке  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади гидроциклона; при очистке сточной воды от проката среднего и мелкого сортов можно задерживать окалину с гидравлической крупностью  $u = 0,4 \text{ мм/сек}$  при нагрузке  $1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади аппарата, а при очистке сточной воды от проката среднего и тонкого листа с гидравлической крупностью  $u = 0,6 \text{ мм/сек}$  при нагрузке  $2 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади аппарата. Приведенные рекомендации основываются также на практике заводов Германии.

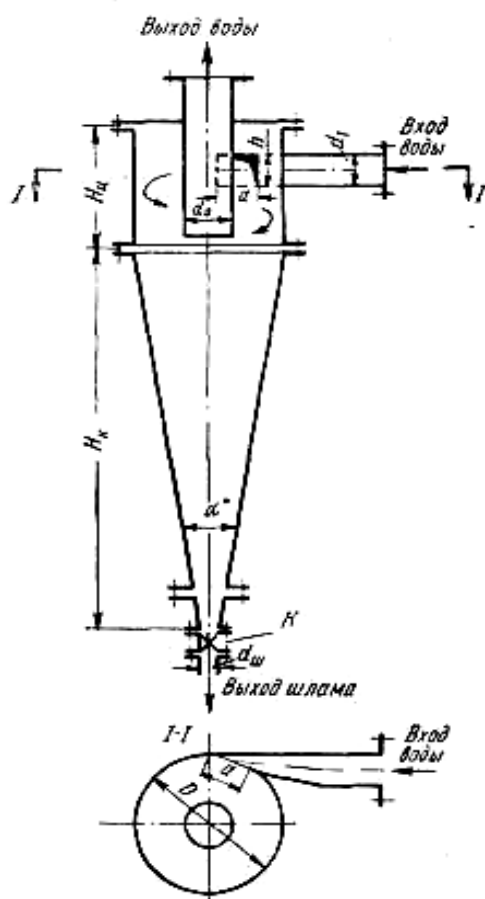


Рисунок 67. Схема гидроциклона для очистки воды от тяжелых механических примесей

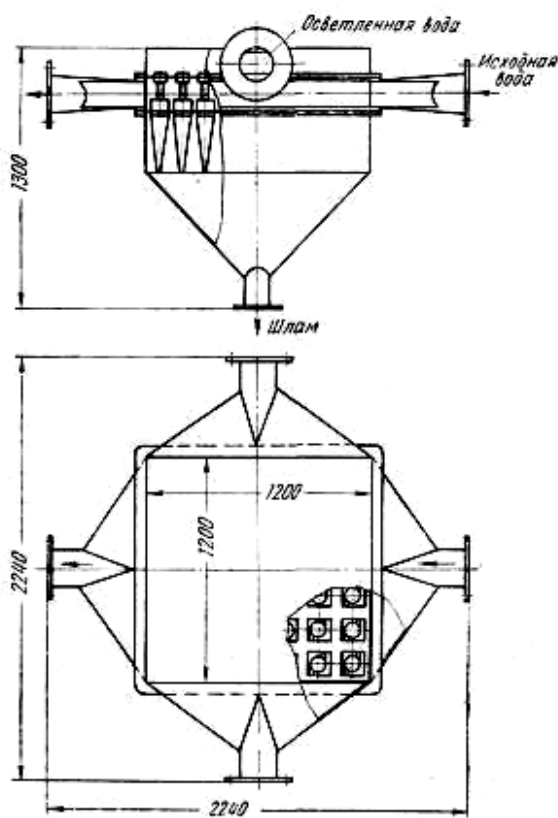


Рисунок 68. Общий вид блока напорных гидроциклонов

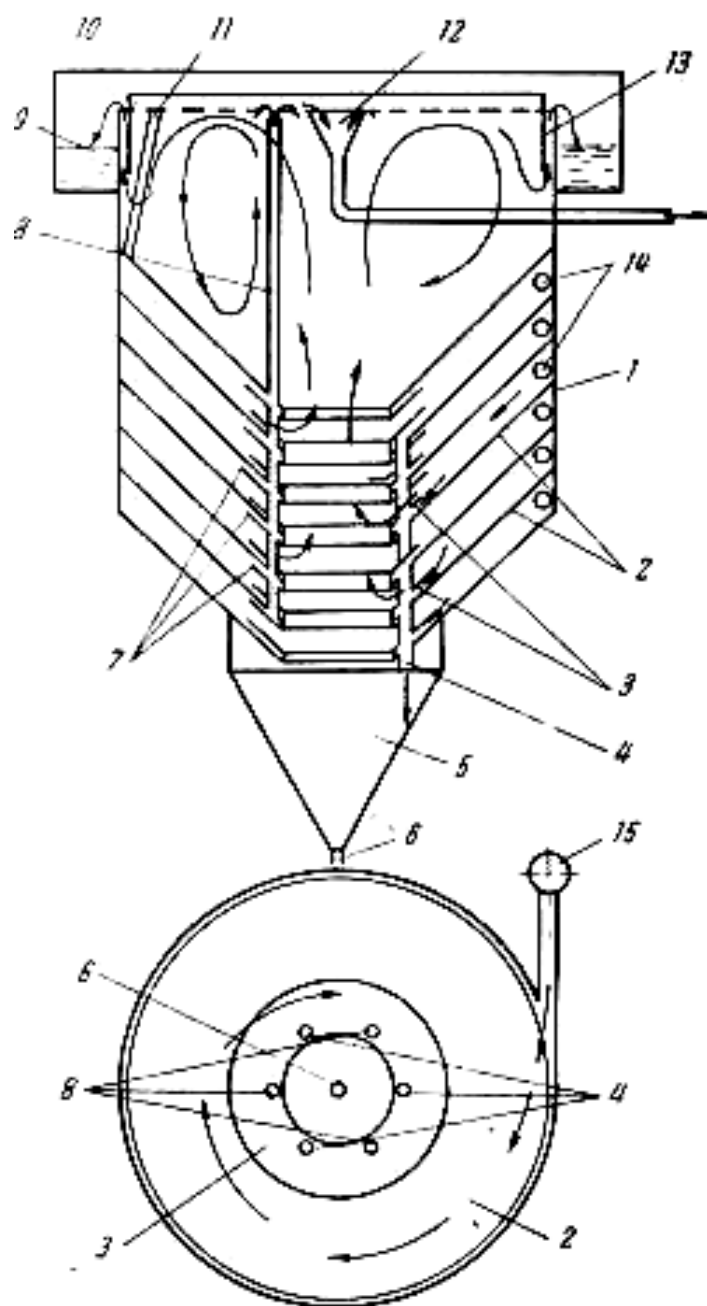


Рисунок 69. Открытый низконапорный гидроциклон

Предложенная ВНИИ Водгеоконструкция многоярусного низконапорного гидроциклона позволяет повысить гидравлическую нагрузку на сооружение до  $50\text{—}100 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  аппарата. Однако расчетные параметры для проектирования таких гидроциклонов могут быть установлены только после получения результатов длительной эксплуатации опытно-промышленных установок.

В некоторых случаях требуется чистая вода, содержащая тяжелых взвешенных веществ не более  $5\text{—}10 \text{ мг/л}$ . Например, чистая вода необходима на гидросбив окалины при изготовлении тонкого листа или белой жести во избежание образования вмятин и царапин на

поверхности, для испытания и калибровки труб, поскольку вода подается здесь плунжерными насосами.

Потребность в такой воде небольшая и она может быть обеспечена дополнительной очисткой оборотной воды, прошедшей отстойники. Для этой цели нашли применение скорые напорные фильтры, работающие со средней скоростью фильтрования  $5\text{—}6\text{ м}^3/\text{ч}$  (попытка применения фильтрования через слой песчаной загрузки со скоростью  $40\text{—}50\text{ м}^3/\text{ч}$  пока не удалась). При этом крупность зерен загрузки должна быть в пределах  $0,5\text{—}2\text{ мм}$  с коэффициентом неоднородности не более 2; слой загрузки 1 м. Такие фильтры промывают холодной водой с интенсивностью  $12\text{—}16\text{ л/сек}$  на  $1\text{ м}^2$  и воздухом с интенсивностью  $6\text{—}8\text{ л/сек}$  на  $1\text{ м}^3$ . Фильтрами может быть задержано от 50 до 70% взвеси, содержащейся в исходной воде в концентрации не более  $50\text{—}60\text{ мг/л}$ .

На Челябинском трубопрокатном заводе в одном из цехов осуществлена двухступенчатая схема очистки сточной воды от трубопрокатного стана: вода проходит очистку сначала в напорных гидроциклонах, затем фильтруется через слой песка в  $0,8\text{ м}$  с крупностью зерен от  $0,5$  до  $2\text{ мм}$ . Содержание взвеси в воде снижается в гидроциклоне с  $250\text{—}300$  до  $30\text{—}50\text{ мг/л}$  и в фильтре — до  $10\text{—}20\text{ мг/л}$ .

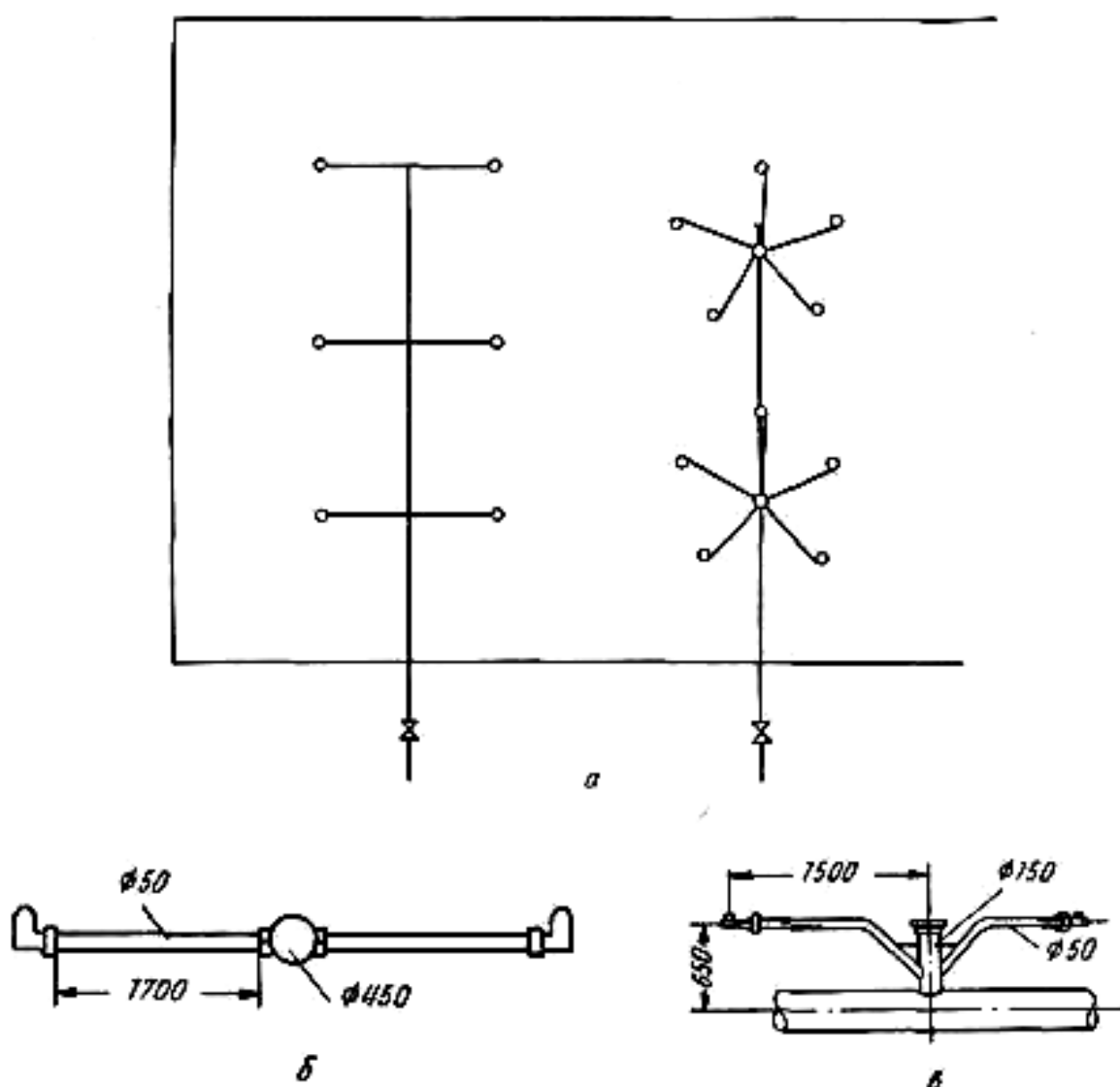
От промывки фильтров вода сбрасывается в начальный участок отстойника сточных вод прокатного стана, а очищенная на фильтрах вода подается снова тем же потребителям.

В процессе использования на прокатных станах вода, соприкасаясь с валками и металлом, нагревается примерно на  $5\text{ град}$ . При очистке отработавшей воды в отстойниках температура ее снижается, но только на  $0,5\text{ град}$  или несколько больше. Поэтому очищенную сточную воду перед повторным использованием на те же цели охлаждают. В качестве охладителя воды с остаточными загрязнениями в ней в виде легкой окалины и масла применяют брызгальные бассейны или градирни. В последнее время применяют преимущественно вентиляторные градирни с капельным или брызгальным оросителем по типовым проектам Союзводоканалпроекта.

Брызгальный бассейн представляет собой открытый железобетонный или бетонный резервуар из двух и более секций, над которым через сопла разбрызгивается охлаждаемая вода. При падении капель вода охлаждается за счёт испарения и соприкосновения с воздухом. Сопла устанавливают одиночно или

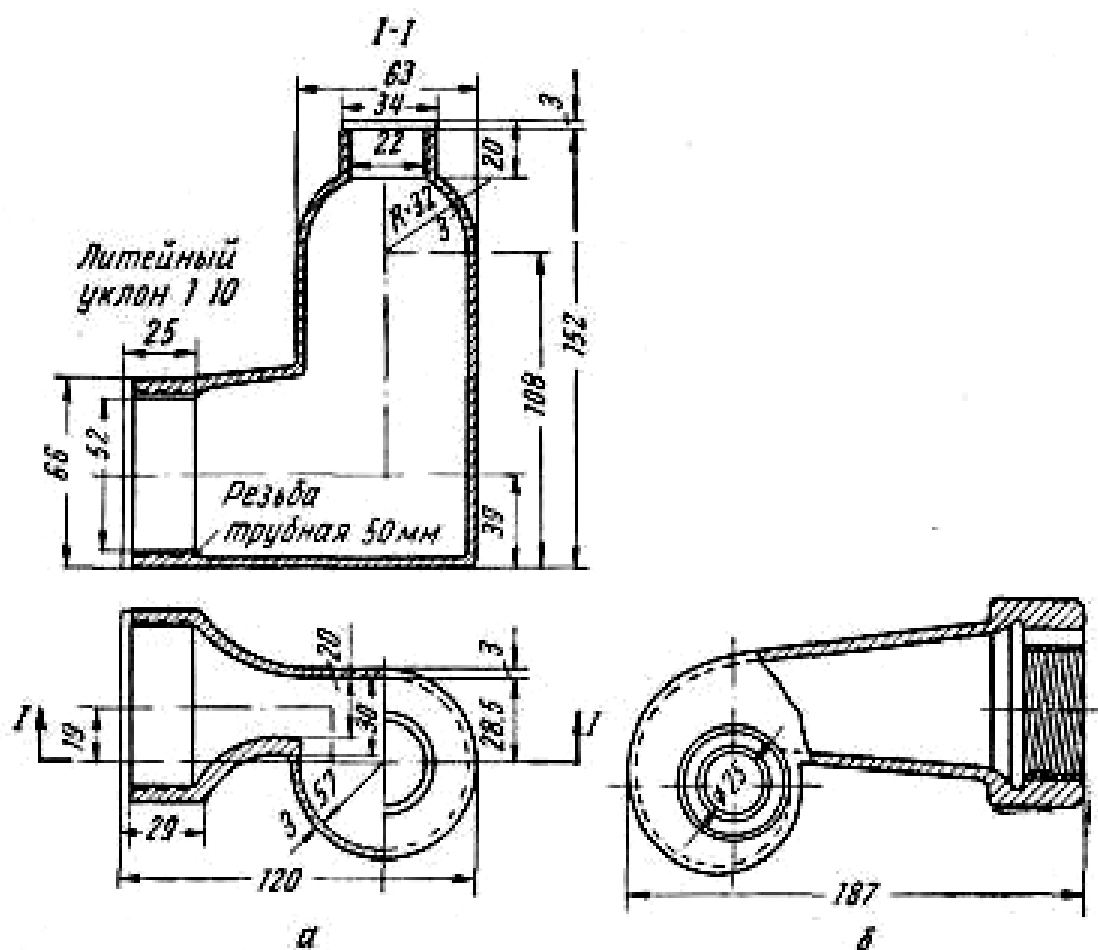
группами на распределительных трубах, к которым по магистралям подводят охлаждаемую воду. При работе брызгал капли воды образуют “факелы”, между которыми протекает воздух; один факел не должен перекрывать другой, а между распределительными линиями должны быть образованы коридоры для подвода воздуха к поверхности воды.

Теплоотдача охлаждаемой воды в брызгальном бассейне главным образом зависит от скорости движения капель и от площади поверхности воды. Для охлаждения недостаточно чистой воды применяют тангенциальные сопла.



а- схема расположения сопел, б- деталь установки тангенциальных бутылочных сопел, в- деталь установки эвольвентных сопел

Рисунок 70. Схема расположения сопел в брызгальном с загрязненной водой



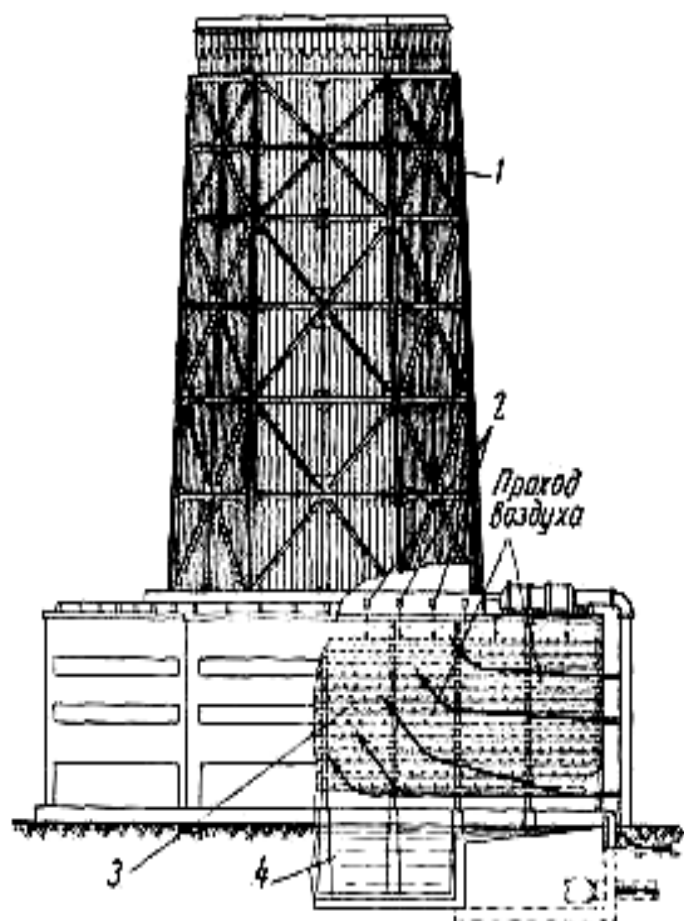
а-бутылочное, б- эвольвентное

Рисунок 71. Сопла тангенциального типа

Градирня представляет собой охладитель воды закрытого типа с противоточным движением капель (или тонкой плёнки) воды и воздуха в пространстве, ограниченном со всех сторон стенками. Здесь теплоотдача зависит от скорости движения капель или плёнки и главным образом от скорости воздуха. Движение воздуха создаётся вследствие тяги в башне или вентилятором.

Башенные брызгальные градирни представляют собой, как правило, сооружения переоборудованные из капельных градирен.

Вентиляторные градирни бывают с вытяжным и нагнетательным вентиляторами. Последние применялись только на коксохимических заводах, и не нашли широкого применения. Ороситель вентиляторной градирни может быть капельный или брызгальный (плёночные применяют только при охлаждении чистой воды). При охлаждении недостаточно чистой воды ороситель устраивают из водораспределительных трубопроводов и брызгалок.



1 – башня, 2 – водораспределительные желоба, 3 – ороситель, 4 – водосборный резервуар.

Рисунок 72. Башенная градирня с капельным оросителем

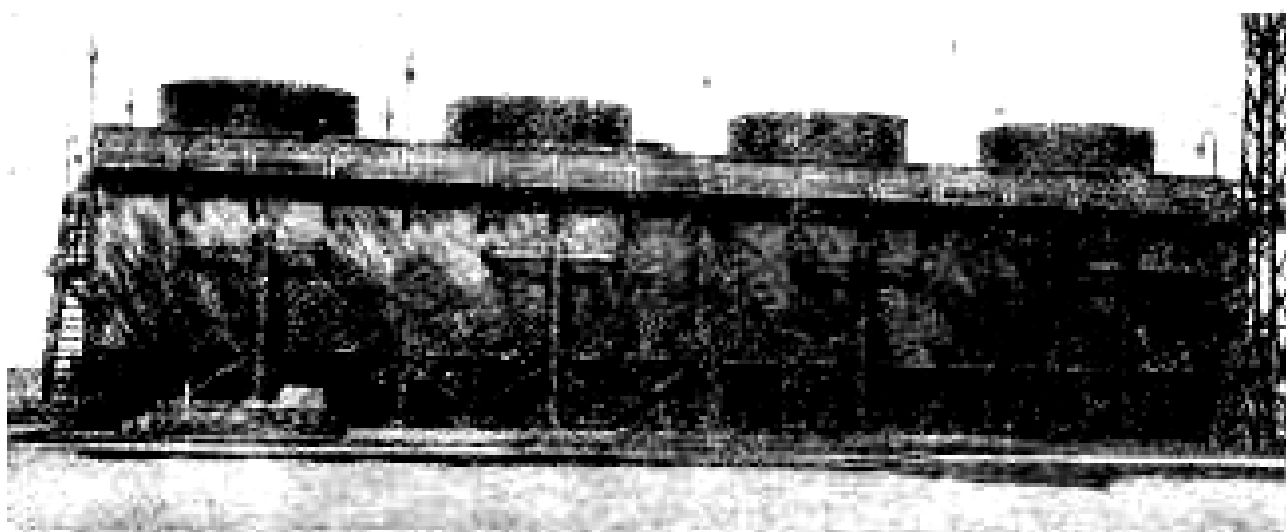
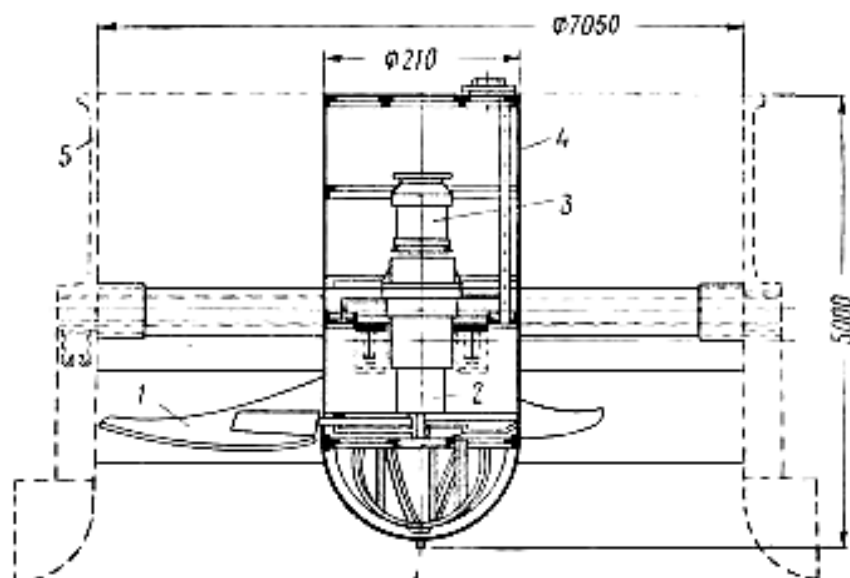
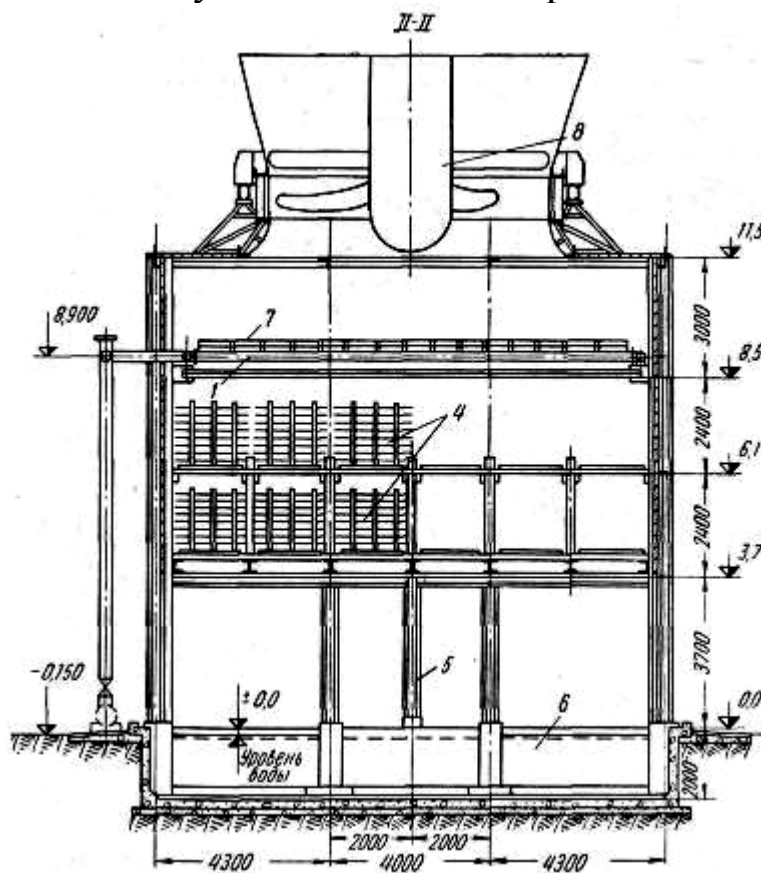


Рисунок 73. общий вид вентиляторной градирни с вытяжными вентиляторами



1- лопасти вентилятора, 2- редуктор, 3- электродвигатель, 4- закрытая камера электродвигателя, 5- патрубок (диффузор)

Рисунок 74. Вентилятор ВГ-70



1- водораспределительная система, 2- межсекционная обшивка, 3- наружная обшивка, 4- блоки капельного оросителя, 5- разделительная диафрагма, 6- резервуар для охлажденной воды, 7- водоуловительная решетка, 8- вентилятор

Рисунок 75- Капельная градирня многосекционная (площадь одной секции  $192\text{ м}^2$  с вентилятором ВГ-70)



При проектировании системы обратного водоснабжения работа проектировщика заключается в расчете и подборе типового, проекта градирни.

В прокатных и особенно в трубопрокатных цехах в трубопроводах оборотной воды образуются отложения, из-за чего пропускная способность трубопроводов со временем снижается. В отдельных случаях вследствие загрязнения отложениями пропускная способность трубопровода уменьшалась более чем вдвое. По данным лаборатории водного хозяйства ВНИИ Водгео (Челябинск), отложения в трубопроводах системы обратного водоснабжения одного трубопрокатного цеха содержали от 37,5 до 55%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 4,6%  $\text{CaO}$ , 4,5%  $\text{SiO}_2$ , от 17,8 до 4%  $\text{CO}_2$ , от 10 до 16% минеральных нерастворимых веществ и от 8,6 до 8,9% веществ, экстрагируемых эфиром,  $\text{SO}_3$  не было; от 10 до 16% (по массе) потери при прокаливании.

Образование отложений в указанном трубопроводе происходит не за счет карбонатов, а преимущественно за счет прилипания омасленных частиц окалина к стенкам трубы.

Удаление этих уже накопившихся отложений эффективно гидропневматической промывкой трубопровода — водой с воздухом в соотношении 1 : 4. Только очень вязкие или твердые отложения приходится предварительно разрыхлять механическим способом — снарядом, состоящим из куска стальной трубы (длиной 0,5 м) меньшего диаметра, но с острыми металлическими шипами; снаряд протаскивают по участкам трубопровода на тросе лебедкой. Затем разрыхленные отложения вымывают из трубопровода водой или водой с воздухом. Гидропневматическая промывка трубопроводов должна быть регулярной.

### **Контрольные вопросы:**

1. Назовите серьезные недостатки отстойников.
2. Что представляет собой Брызгальный бассейн
3. От чего главным образом зависит теплоотдача охлаждаемой воды в брызгальном бассейне ?
4. Какие способом приходится предварительно разрыхлять только очень вязкие или твердые механическим способом ?

### **Список рекомендуемой литературы**

1. Шабалин А. Ф. Очистка и использование сточных вод на предприятиях черной металлургии. Металлургия, 1968. 508 с.

2.Старк С. Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. М. Металлургия. 1990.

3.Фарфоровский Б. С., Пятов Я. Н. Проектирование охладителей для систем производственного водоснабжения. Госстройиздат. 1960.

4.Диомидов Б. Б., Технология прокатного производства. М. Металлургия 1979. 488 с.

## **Лекция № 27. Основные характеристики и регенерация маслосодержащих стоков, смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ).**

### **1. Основные характеристики маслосодержащих стоков, смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ)**

#### **2. Регенерация отработанных СОЖ**

На предприятиях металлургической и машиностроительной промышленности одной из основных категорий сточных вод являются маслосодержащие стоки.

По концентрации основного загрязнения (масла) они делятся на малоконцентрированные и концентрированные. Малоконцентрированные стоки образуются при промывке металлических изделий после их термической обработки и после расконсервирования.

Концентрированные сточные воды содержат масел до 50 г/л. Это отработанные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), а также отработанные моющие растворы, представляющие собой стойкие эмульсии типа “масло в воде”. Их расход составляет 0,5 - 200 м<sup>3</sup>/сут в зависимости от мощности предприятия и типа его продукции.

На многих предприятиях концентрированные маслосодержащие стоки разбавляются большим количеством условно чистых вод и превращаются в малоконцентрированные. Содержание в них масел обычно колеблется от 10 до 500 мг/л. Объем этих сточных вод достигает 5 - 10 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Технологические схемы очистки маслосодержащих сточных вод в нашей стране и за рубежом предусматривают смешивание всех видов маслосодержащих сточных вод, их отстаивание для удаления грубодисперсных и всплывающих примесей, обработку коагулянтами и обезвоживание образующихся осадков.

Основным недостатком таких схем очистки являются большие затраты коагулянтов и образование значительных количеств осадков, для обезвоживания которых требуется дополнительный расход коагулянтов с целью снижения содержания в них масел. Практика показывает, что раздельная обработка коагулянтами малоканцентрированных и концентрированных сточных вод требует меньших затрат коагулянтов и сопровождается образованием меньших объемов осадков.

Основное количество концентрированных маслоэмульсионных сточных вод на предприятиях машиностроения и металлообработки сбрасывается в виде отработанных СОЖ. Свежие СОЖ готовят из технических продуктов - эмульсолов, представляющих собой эмульсии типа "вода в масле". При смешивании 3-10% эмульсола, 90 - 95% воды и 0,3% соды образуются эмульсии типа "масло в воде". Для придания эмульсии устойчивости необходимо добавление к ней еще одного компонента - эмульгатора, способного сорбироваться на поверхности обеих - несмешивающихся жидкостей. Помимо указанных компонентов, в состав СОЖ входят различные стабилизаторы, а также большое количество присадок (антикоррозионные, бактерицидные, противоизносные, противозадирные).

Средний срок использования СОЖ колеблется от двух недель до полутора месяцев. Основными причинами замены смазочно-охлаждающих жидкостей при холодной обработке металлов являются наличие в них большого количества взвешенных веществ (металлическая пыль, сажа, частицы абразивных материалов), расслаивание СОЖ и их загнивание.

Регенерация отработанных СОЖ, заключающаяся в удалении из них посторонних примесей, позволяет возвращать их в производство, достигая тем самым экономии минеральных масел и других компонентов, входящих в состав эмульсолов. Кроме того, предотвращаются затраты на приготовление, складирование и перевозку новых партий эмульсола.

Основной причиной сброса СОЖ является их загнивание, которое можно предупредить с помощью бактерицидных добавок. В качестве таких добавок используются гексахлорофен, фурацилин, бактерициды типа "Вазин" и "Азин".

Регенерацию отработанных СОЖ следует проводить следующим образом. Отработанную СОЖ направляют в сборный резервуар и

отстаивают в нем для отделения взвеси и всплывающего масла в течение 6 ч. Для удаления тонкой взвеси СОЖ затем подают на фильтр-транспортёр с бумажной лентой, после чего она поступает в ёмкость для регенерации. В эту ёмкость подают эмульсол-пасту (смесь эмульсола с водой в соотношении 1: 1), воду и раствор бактерицидного вещества. При необходимости в регенерируемую СОЖ вводят антикоррозионные добавки ( $\text{NaNO}_2$  в дозе 1 г/л) и соду из расчёта 0,2 - 0,3 % (по массе). Смесь перемешивают сжатым воздухом в течение 10 мин, отстаивают в течение 60 мин, удаляют всплывшее масло и возвращают в производство для дальнейшего использования. Однако регенерация отработанной СОЖ возможна только в том случае, если в 1 мл жидкости содержится менее 100 млн. бактерий. В противном случае отработанная СОЖ подлежит сбросу на очистные сооружения.

Отечественная промышленность выпускает большое количество эмульсолов различных марок, которые значительно отличаются по своему составу и физико-химическим свойствам. В зависимости от типа содержащихся в них эмульгаторов все смазочно-охлаждающие жидкости на основе минеральных масел можно разделить на три группы:

1. СОЖ, содержащие ионогенные эмульгаторы;
2. СОЖ, содержащие неионогенные эмульгаторы;
3. СОЖ, содержащие одновременно ионо- и неионогенные эмульгаторы.

В качестве эмульгаторов СОЖ содержит соли органических кислот (олеиновой, нафтеновой, сульфонафтеновой), в качестве стабилизаторов - этиловый спирт, этиленгликоль, триэтаноламин.

Мицелла эмульсола, представляющего собой коллоидную систему, имеет следующее строение: ядро мицеллы состоит из мельчайших капелек масла, окруженных анионами органических кислот, вследствие избирательной адсорбции которых аполярная гидрофобная часть анионов эмульгатора (углеводородный радикал) ориентирована в сторону масляной глобулы, а полярная часть - в сторону дисперсионной среды. Катионы щелочного металла, ( $\text{Na}^+$ ), которые в результате диссоциации отделились от остатка (аниона) органической кислоты, образуют плотный диффузный слой противоионов. Таким образом, на поверхности масляных глобул образуется двойной электрический слой.

Эмульсол как коллоидная система устойчив при наличии некоторого избытка масла. Для того чтобы эмульсол обладал способностью самопроизвольно образовывать с водой эмульсии, необходимо, чтобы он обладал свойствами гидрофильного геля, т. е. внешней фазой в коллоидной системе должен быть концентрированный раствор мыла. Для этого эмульсолы, кроме минеральных масел и нафтовых мыл, обязательно должны содержать некоторое количество воды. Эмульсолы, состоящие из минеральных масел и более гидрофобных мыл олеиновой кислоты, обязательно должны содержать или второе, более гидрофильное мыло, например мыло сульфокислоты, или спирт, являющийся в данном случае растворителем внешней фазы недостаточно гидрофильных мыл олеиновой кислоты. Эти компоненты эмульсолов называются стабилизаторами. Ко второй группе относятся

СОЖ, содержащие ПАВ неионогенного типа, например ОП, а именно СОЖ, приготовленные из эмульсолов ИХП-45Э и ИХП-130Э.

Механизм стабилизации этих эмульсионных систем можно представить следующим образом. Молекулы большинства поверхностно-активных соединений имеют линейное строение, т. е. их длина гораздо больше поперечного размера. Один конец молекулы ПАВ, состоящий из углеводородных радикалов, ориентируется в сторону масляных глобул и сорбируется на их поверхности. На другом конце молекулы находится гидрофильная группа, которая ориентирована в сторону дисперсионной среды. Таким образом, молекулы ПАВ образуют коагуляционную пространственную сетку.

При этом между частицами масляных глобул остается очень тонкая прослойка дисперсионной среды, которая препятствует сближению частиц и придает коагуляционным структурам характерные свойства: вязкость, ползучесть, прочность. Однако возникновение защитных слоев высокой прочности, обеспечивающих устойчивость эмульсий, связано не с формированием адсорбционных слоев эмульгатора самих по себе, а с образованием на границе раздела двух фаз сложных надмолекулярных структур в форме многослойных фазовых пленок.

В основе рассмотренных явлений лежит гидродинамический эффект самопроизвольной поверхностной турбулентности и конвекции, вызывающей односторонний переход углеводородной фазы в водную фазу в виде ультрамикроэмульсии. Структурированная адсорбционным слоем эмульгатора такая фазовая

пленка приобретает значительную прочность и, как следствие этого, высокую стабилизирующую способность.

Таким образом, эмульсионные системы, стабилизированные неионогенными эмульгаторами, очень устойчивы, хотя их адсорбционные слои не обладают ярко выраженной структурно-механической прочностью.

К третьей группе относятся СОЖ, которые содержат одновременно ПАВ ионо- и ионогенного типа, а также различные группы органических соединений, которые придают смазочно-охлаждающим жидкостям связывающие, противозадирные и антикоррозионные свойства (хлор, парафин, осерненное хлопковое масло, канифоль). Эмульгаторами в этих системах являются мыла жирных кислот, ОП-4 (эмульсол Аквол-2), нефтяной сульфонат натрия и синтомид-5 (эмульсол Укринол-1).

#### **Контрольные вопросы:**

1. Назовите основные характеристики маслосодержащих стоков.
2. Основные недостатки схем очистки.
3. В виде чего сбрасывается основное количество концентрированных маслоэмульсионных сточных вод на предприятиях машиностроения и металлообработки?
4. Сколько видов СОЖ различают?

#### **Список рекомендуемой литературы:**

1. Д.Н.Смирнов, В.Е.Генкин, "Очистка сточных вод в процессах обработки металлов", М:Металлургия, 1989.
2. "Удаление металлов из сточных вод" под ред. Дж.К.Кушни, М:Металлургия, 1987.
3. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. "Контроль качества воды" М: Стройиздат, 1986.
4. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков *Под редакцией В.Н. Соколова* М: Стройиздат, 1992.
5. Туровский И.С. "Обработка осадков сточных вод" М: Стройиздат, 1984.

## **Лекция № 28. Технология очистки отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей и утилизация осадков сточных вод и активного ила.**

### **1. Технология очистки отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей**

#### **2. Утилизация осадков сточных вод и активного ила**

Для очистки отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей применяют следующие методы:

1. реагентные (обработка минеральными солями и кислотами, коагулянтами и флокулянтами);

2. физико-химические (электрокоагуляция, ультрафильтрация).

Метод деэмульгирования масляных эмульсий путем коагуляции дисперсной фазы неорганическими электролитами получил широкое распространение в практике очистки сточных вод. По литературным данным, для очистки маслоэмульсионных сточных вод могут быть использованы  $\text{NaCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , взятые в отдельности или в комбинации друг с другом. Под воздействием электролитов происходит как снижение электрокинетического потенциала масляных эмульсий, так и разрушение структурно-механического барьера. Следует отметить, что многовалентные катионы способны перезаряжать масляные глобулы с образованием неустойчивой системы - обратной эмульсии, поэтому определение оптимального расхода реагентов является основой для успешного их применения. Совместное применение различных реагентов позволяет значительно повысить эффективность очистки. В литературе отмечается, что для очистки маслоэмульсионных сточных вод используется двух- и трехступенчатая их обработка реагентами.

Наиболее эффективным коагулянтом для очистку отработанных СОЖ, содержащих ионогенные эмульгаторы, является сернокислый алюминий.

Технология очистки маслоэмульсионных сточных вод с помощью сернокислого алюминия внедрена на московском станкостроительном производственном объединении "Красный пролетарий" и на ГПЗ-5 (г. Томск). Ниже приведены оптимальные дозы  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  для очистки отработанных СОЖ, приготовленных на основе, эмульсола первой группы.

В настоящее время особое внимание уделяется сокращению и максимальному использованию различных производственных отходов, а также созданию в промышленности безотходной технологии производства. Для очистки отработанных СОЖ можно использовать отходы ацетиленовых станций, содержащие гидроксид кальция, а также отработанные травильные растворы, содержащие  $H_2SO_4$  и  $FeSO_4$ , или  $HCl$  и  $FeCl_2$ . Способ очистки отработанных СОЖ на основе эмульсолов марки Э-1 (А), Э-2 (Б), Э-3 (В) с помощью серной кислоты (доза  $H_2SO_4$  3 - 5 г/л) и отходов ацетиленовой станции (доза активного оксида кальция 1 г/л) внедрен на головном заводе ПО «АвтоУАЗ» (г. Ульяновск). Содержание эфироиэвлекаемых веществ в обработанной жидкости, имеющей величину  $pH=7$ , в среднем составляет 170 - 220 мг/л. Технито-экономические расчеты показывают, что при химическом методе очистки маслоэмульсионных сточных вод затраты на реагенты составляют от 30 до 70 % всех эксплуатационных затрат, поэтому применение для очистки различных производственных отходов значительно снижает эксплуатационные затраты.

В настоящее время одним из перспективных методов очистки этого вида сточных вод является метод электрокоагуляции, разработанный харьковским отделом ВНИИВОДГЕО. Процесс очистки масляных эмульсий, содержащих ионогенные эмульгаторы, протекает следующим образом. Электрокинетический потенциал эмульсии, находящейся в электрическом поле, снижается, а эмульсия теряет свою устойчивость. Перешедшие в жидкую фазу ионы алюминия при  $pH=6-8$  в межэлектродном пространстве образуют сначала коллоидный раствор, а затем в зависимости от  $pH$  среды макрочастицы гидроксида или основного сульфата алюминия. При  $pH=5$  эмульгатор переходит в нерастворимую форму, что еще в большей степени способствует сорбции частиц дисперсной фазы, так как происходит снижение прочности структурно-механического барьера. При дальнейшем протекании процесса происходит подщелачивание жидкости и весь алюминий переходит в нерастворимую форму, создавая максимум сорбционной поверхности.

Электрокоагуляционный способ рекомендуется применять для локальной очистки отработанных СОЖ, для приготовления которых были использованы эмульсолы марок Э-1 (А), Э-2 (Б), Э-3 (В), ЭТ-2 и НГЛ-205. Способ применим также для очистки отработанных СОЖ,



приготовленных на эмульсолах марок Укринол-1, ЭГТ, СП-3, Аквол-2, Аквол-б, МОТ и др.

Сущность способа заключается в разрушении эмульсии и коагуляции эмульгированных масел под действием продуктов электрохимического растворения алюминиевых анодов и флотаций коагулята водородом, образующимся на катодах.

Перед электрохимической обработкой сточные воды подкисляют до  $\text{pH}=5-5,5$  для снижения агрегативной устойчивости эмульсии.

В процессе электролиза величина  $\text{pH}$  сточных вод возрастает до  $6,5 - 7,5$ . Процесс очистки сточных вод складывается из следующих технологических операций: сбор, усреднение и отстаивание сточных вод, их подкисление, электрохимическая обработка, отведение продуктов очистки, осветление отработанной воды.

Маслоэмульсионные сточные воды после усреднения и отстаивания в резервуаре с целью отделения свободного масла (последнее удаляют в маслосборник) затем направляют в смеситель, где подкисляют концентрированной соляной кислотой до  $\text{pH}=5-5,5$ . Подкисленные сточные воды направляют в электролизер. Пенный продукт, образующийся на поверхности обрабатываемой жидкости, периодически или непрерывно удаляют в пеноприемный бак. Обработанную сточную воду осветляют в отстойнике, после чего сбрасывают в канализацию населенных пунктов (при биологической очистке сточных вод на го-

родских канализационных очистных сооружениях достигается удаление из них остаточных количеств органических веществ).

При электролизе подкисленных сточных вод происходит электролитическое растворение алюминиевого анода и образование гидроксида алюминия, обладающего высокой коагулирующей способностью.

Очищенная вода представляет собой прозрачную бесцветную жидкость, имеющую величину  $\text{pH}=6,5-7,5$ , величину ХПК  $0,5-0,6$  г/л, содержащую нефтепродуктов  $25$  мг/л и хлоридов  $1,5$  г/л (общее содержание растворенных минеральных солей  $2,5 - 3$  г/л).

Электролизер для очистки маслоэмульсионных сточных вод представляет собой прямоугольный стальной резервуар, футерованный изнутри винипластом или другим кислотостойким материалом. Дно электролизера имеет уклон  $1:10$  в сторону выпуска сточных вод. К левой торцевой стенке корпуса электролизера (выше уровня жидкости) прикреплен патрубок для подачи сточной воды, к

днищу приваривают патрубок для отвода очищенной воды, В правой торцевой стенке аппарата выше уровня жидкости располагаются два прямоугольных продольных окна: нижнее - для присоединения пеносгонного лотка, верхнее - для подключения вытяжного воздуховода. На задней стенке корпуса имеются отверстия для присоединения токоподводящих шин. Пеносгонный лоток расположен под углом  $45^\circ$  к вертикальной стенке. В верхней части корпуса электролизера (под электродами) устанавливают пеноудаляющее устройство.

Электролиз сточных вод проводят при плотности тока  $80 - 120 \text{ А/м}^2$ , напряжении на электродах  $7 - 10 \text{ В}$ . Продолжительность их электрохимической обработки составляет  $4 - 5$  мин, удельный расход алюминия для удаления  $1 \text{ г}$  эмульгированного масла  $0,03 \text{ г}$ , удельный расход электроэнергии  $2,5 - 3 \text{ кВт ч/м}$ , удельный расход соляной кислоты ( $35 \%$ ) на подкисление сточных вод  $7 - 8 \text{ кг/м}^3$ .

Для обработки сточных вод возможно использование переменного электрического тока, однако в этом случае для достижения того же эффекта очистки удельный расход электроэнергии увеличивается на  $40 - 50 \%$ .

Харьковским отделом ВНИИВОДГЕО разработаны две модели электролизеров (трех- и шестисекционный).

В настоящее время установки для электрохимической очистки маслоэмульсионных сточных вод действуют на ряде машиностроительных предприятий СНГ [Минский моторный завод, Ждановский завод тяжелого машиностроения, завод сельскохозяйственных машин (г. Белая Церковь) и др.].

Институтом “Харьковский Водоканалпроект” разработаны типовые проектные решения установок “Комплект оборудования для электрокоагуляционной обработки смазочно-охлаждающих жидкостей производительностью  $5 - 10 \text{ м}^3/\text{сут}$ .”

В Харьковском политехническом институте М. М. Назаряном разработан аппарат колонного типа для очистки концентрированных маслосодержащих сточных вод с помощью коагулянта - гидроксида алюминия, получаемого путем электролитического растворения алюминиевых анодов в электродной камере аппарата. Полученная суспензия гидроксида алюминия затем смешивается со сточными водами в реакционной камере, а образовавшийся осадок отделяется от жидкой фазы во флотационной и отстойной камерах. Установка

подобного типа действует на головном заводе Харьковского ПО “Серп и молот”.

Для очистки больших объемов маслоэмульсионных стоков успешно применяется метод реагентной напорной флотации. Этот метод внедрен на ГПЗ-2 (г. Москва). Очистку маслоэмульсионных сточных вод проводят по следующей схеме: сточная вода поступает в отстойник-накопитель, где происходит выделение механических примесей и свободных масел, а затем в этой же емкости производится нейтрализация жидкости серной кислотой до  $\text{pH}=7-8$ . Нейтрализованная сточная вода поступает во флотатор, куда одновременно подается раствор сернокислого алюминия. Образующаяся в процессе напорной флотации пена собирается и направляется в пеносборник.

Величина - потенциала эмульсионных систем, содержащих неионогенные эмульгаторы, недостаточна для их высокой стабильности, а их адсорбционные слои не обладают высокой структурно-механической прочностью, поэтому применение коагулянтов для очистки подобных сточных вод малоэффективно.

Одним из перспективных методов очистки этих сточных вод является метод ультрафильтрации. Возможность его применения показана в исследованиях, проведенных во ВНИИВОДГЕО на аппарате типа фильтр-пресс с использованием ультрафильтрационных мембран марок УАМ-500, УАМ-200, УАМ-150, УАМ-50 (цифра обозначает средний диаметр пор мембраны в Ангстрем).

Установлено, что производительность ультрафильтратов по пермеату практически одинакова для всех марок мембран [ $10 \text{ л/ (сут-м}^2\text{)}$ ]. Содержание масла в очищаемой жидкости может быть снижено до 8 - 10 мг/л. Степень концентрирования фильтруемой эмульсии зависит от ее стойкости: наиболее стойкие эмульсии, например приготовленные на основе эмульсола ИХП, можно концентрировать до содержания масел 500 г/л. Недостатком этого метода является малая производительность ультрафильтров, что значительно сдерживает его широкое применение. Для повышения производительности ультрафильтров целесообразно применять их промывку растворами поверхностно-активных веществ (например, 6%-ным раствором препарата Лабомид-161). Такую промывку следует проводить через 150 - 200 ч работы установки, при этом производительность мембран, повышается в 2 - 3 раза.

Во ВНИИВОДГЕО проведены также исследования метода ультрафильтрации с использованием в качестве фильтрующего элемента фрагментов трубчатых модулей из фторопласта типа БТУ с диаметром пор 500 А (50 нм). Полученные результаты показали, что для реального диапазона концентраций масел в отработанных СОЖ (10 - 25 г/л) производительность мембран и величина ХПК пермеата практически не зависят от исходной, концентрации масел в сточной воде. При этом конечная ХПК очищенной жидкости не зависит также от времени работы установки и составляет 100 - 150 мг\*О/л. Проницаемость мембран составляет 10 - 15 л/ (м<sup>2</sup>ч).

Как следует из приведенного обзора, в разработке эффективных методов очистки концентрированных маслосодержащих сточных вод в последние годы достигнуты определенные успехи. Построены и введены в постоянную эксплуатацию установки по очистке маслосодержащих сточных вод методами коагуляции, электрокоагуляции, реагентной напорной флотации. Значительное количество установок на предприятиях машиностроительной и металлургической промышленности строится. На одном из завалов действует опытно-промышленная установка для очистки маслосодержащих сточных вод методом ультрафильтрации. Очищенные маслосодержащие сточные воды вместе с другими сточными водами предприятия поступают обычно на городские очистные сооружения.

Утилизация осадков сточных вод и избыточного активного ила часто связана с использованием их в сельском хозяйстве в качестве удобрения, что обусловлено достаточно большим содержанием в них биогенных элементов. Активный ил особенно богат азотом и фосфорным ангидридом.

В качестве удобрения можно использовать те осадки сточных вод и избыточный активный ил, которые предварительно были подвергнуты обработке, гарантирующей последующую их незагниваемость, а также гибель патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов.

Наиболее эффективным способом обезвоживания отходов, образующихся при очистке сточных вод, является термическая сушка. Перспективные технологические способы обезвоживания осадков и избыточного активного ила, включающие использование барабанных вакуум-фильтров, центрифуг, с последующей термической сушкой и одновременной грануляцией позволяют

получать продукт в виде гранул, что обеспечивает получение незагнивающего и удобного для транспортировки, хранения и внесения в почву органоминерального удобрения, содержащего азот, фосфор, микроэлементы.

Наряду с достоинствами получаемого на основе осадков сточных вод и активного ила удобрения следует учитывать и возможные отрицательные последствия его применения, связанные с наличием в них вредных для растений веществ в частности ядов, химикатов, солей тяжелых металлов и т.п. В этих случаях необходимы строгий контроль содержания вредных веществ в готовом продукте и определение годности использования его в качестве удобрения для сельскохозяйственных культур.

Извлечение ионов тяжелых металлов и других вредных примесей из сточных вод гарантирует, например, получение безвредной биомассы избыточного активного ила, которую можно использовать в качестве кормовой добавки или удобрения. В настоящее время известно достаточно много эффективных и достаточно простых в аппаратном оформлении способов извлечения этих примесей из сточных вод. В связи с широким использованием осадка сточных вод и избыточного активного ила в качестве удобрения возникает необходимость в интенсивных исследованиях возможного влияния присутствующих в них токсичных веществ ( в частности тяжелых металлов) на рост и накопление их в растениях и почве.

Представляет интерес практика использования осадков сточных вод в ФРГ. По санитарным соображениям в ФРГ допускается использование в качестве удобрения только незагнивающих, стабилизированных осадков сточных вод, термически высушенных, компостированных и пастеризованных. Пастеризация осадков заключается в их нагревании до 65-70 °С в течение 20-30 мин, что приводит к уничтожению в яйц гильминтов и патогенных микроорганизмов. Более высокий эффект пастеризации достигается при нагревании осадка до 80-90 °С с последующим выдерживанием в течение 5 мин. В случае образования больших объемов осадков сточных вод, содержащих соли тяжелых металлов, из-за чего их нельзя использовать в качестве удобрения, по-видимому, целесообразно использовать другие пути утилизации, например, сжигание осадков.

В ФРГ также предложен способ сжигания активного ила с получением заменителей нефти и каменного угля. Подсчитано, что

при сжигании 350 тыс. т активного ила можно получить топливо, эквивалентное 700 тыс. баррелей нефти и 175 тыс. т угля [1 баррель - 159л.]

Одним из преимуществ этого метода является то, что полученное топливо удобно хранить. В случае сжигания активного ила выделяемая энергия расходуется на производство пара, который немедленно используется, а при переработке ила в метан требуются дополнительные капитальные затраты на его хранение.

Важное значение также имеют методы утилизации активного ила, связанные с ис-

пользованием его в качестве флокулянта для сгущения суспензий, получения из активного угля адсорбента в качестве сырья для получения строй материалов и т.д.

Проведенные токсикологические исследования показали возможность переработки сырых осадков и избыточного активного ила в цементном производстве.

Ежегодный прирост биомассы активного ила составляет несколько миллионов тонн. В связи с этим возникает необходимость в разработке таких способов утилизации, которые позволяют расширить спектр применения активного ила.

### **Контрольные вопросы:**

1. Какие методы применяют для очистки отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей ?
2. Когда рекомендуется применять электрокоагуляционный способ?
3. Что представляет собой очищенная вода ?

### **Список рекомендуемой литературы:**

1. Д.Н.Смирнов, В.Е.Генкин, "Очистка сточных вод в процессах обработки металлов", М:Металлургия, 1989.
2. "Удаление металлов из сточных вод" под ред. Дж.К.Кушни, М:Металлургия, 1987.
3. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. "Контроль качества воды" М: Стройиздат, 1986.
4. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков *Под редакцией В.Н. Соколова* М: Стройиздат, 1992.
5. Туровский И.С. "Обработка осадков сточных вод" М: Стройиздат, 1984.

## **Лекция № 29. Обработка травильных сточных вод**

### **1. Назначение агрегата непрерывного горячего цинкования**

### **2. Использование воды в агрегате оцинкования**

Назначение протяжных печей агрегатов горячего цинкования – термохимическая обработка холоднокатаной стальной углеродистой полосы перед горячим цинкованием и последующий низкий отпуск полосы с нанесенным слоем цинка. Предусмотрена возможность алюминирования полосы.

Протяжная печь входит в состав агрегата непрерывного горячего цинкования АГНЦ-2У цеха холодного проката. В протяжной печи предусмотрены две основные технологические операции:

1) подготовка поверхности полосы к оцинкованию при одновременном проведении отжига или нормализации для получения требуемой структуры (качества) полосы;

2) подготовка к оцинкованию полосы с уже полученной до входа в печь структурой (качеством).

При проведении первой технологической операции поступившая в печь полоса подвергается термической очистке в камере скоростного подогрева и последующему отжигу и нормализации по заданным режимам. При осуществлении второй технологической операции полоса, прошедшая перед поступлением в печь химическую очистку (обезжиривание, травление и т.д.), подвергается в протяжной печи подогреву.

Агрегат непрерывного горячего цинкования состоит из трех частей: головная (химическая), печная и хвостовая.

Подготовка поверхности полосы перед оцинкованием производится в химическом узле агрегата, а также в камере скоростного подогрева.

Технологический процесс подготовки полосы состоит из следующих операций: химического обезжиривания в ванне замочки, щеточно-моечной обработки в ЦММ, электролитического обезжиривания поочередно в двух ваннах электролитического обезжиривания, травления, промывки в холодной и горячей воде, сушки.

Состав раствора обезжиривания ванны замочки: триполифосфат натрия – 1,5-2,0%, каустическая сода – 1-1,5%, эмульгатор – 0,1-0,3%.

Состав раствора электролитического обезжиривания: триполифосфат натрия ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) – 2,5-3,0%, каустическая сода ( $\text{NaOH}$ ) – 1,0-2,0%.

Растворы в ваннах непрерывно циркулируют по системе: ванна – циркуляционный бак – насос – ванна. Полная замена обезжиривающих растворов производится 1 раз в месяц, промывная вода при накоплении щелочи подвергается немедленной замене.

Процесс травления состоит из погружения металлических изделий в ванну с травильным раствором и последующей промывки их относительно чистой водой. Промывные воды и составляют основную массу сточных вод, подлежащих обработке. Кроме того, периодически в сточные воды попадают отработанные травильные растворы, подвергаемые регенерации.

В качестве травильных растворов применяют разбавленные серную и соляную кислоты или их смеси. Для травления специальных сортов стали используют азотную, фосфорную и плавиковую кислоты. В нашей стране по сложившимся традициям и условиям экономики для травления применяют преимущественно техническую серную кислоту. Наибольшая скорость травления получается при 20-25%-ной концентрации раствора. Используют и более слабые растворы. При травлении железа серной кислотой основным продуктом химических реакций является сернокислое железо  $\text{FeSO}_4$ , которое вместе с серной кислотой составляет главную часть загрязнений, находящихся в растворенном состоянии в сточных водах. Однако при травлении не вся окалина переходит в раствор, некоторая ее часть разламывается и выпадает в осадок. Окалина, песок и прочие твердые частицы составляют нерастворимую часть загрязнений.

Обычно из травильных ванн с серной кислотой отработанный раствор сбрасывается с остаточным содержанием серной кислоты 30-70  $\text{кг/м}^3$  и железного купороса 150-300  $\text{кг/м}^3$ . Температура сточных вод достигает 80<sup>0</sup>С.

Сточные воды после промывки полосы содержат около 0,5  $\text{кг/м}^3$  серной кислоты и железного купороса.

В протяжной печи промышленной (технической) водой охлаждаются: центральный вал печных роликов в камере скоростного подогрева, цапфы печных роликов в камерах нагрева, выдержки и ступенчатого охлаждения, цапфы нижнего поворотного ролика, носики горелок камеры скоростного подогрева, подшипники



циркуляционных вентиляторов блоков струйного охлаждения, холодильники пирометров и газоанализаторов, входной затвор, дроссель-клапаны продувочных свечей в камерах скоростного подогрева и нагрева.

Для возможности визуального контроля за расходом воды на каждый охлаждаемый технической водой элемент печи, а также для контроля за состоянием этих элементов по температуре выходящей из них воды предусмотрена система водоснабжения с разрывом струи: выходящая из каждого водоохлаждаемого элемента вода открыто сливается в приемную воронку сливных трубопроводов.

Для нормальной работы печи к качеству подводимой воды предъявляются следующие требования:

- содержание взвешенных частиц и загрязнений не более 40 мг/л;
- недопустимо обрастание охлаждаемых элементов микроорганизмами;
- недопустимо выпадение солей жесткости при нагреве до 50<sup>0</sup>С;
- температура подводимой к печи воды не более 35<sup>0</sup>С.

Для охлаждения защитного газа в теплообменники блоков струйного охлаждения подведена химочищенная вода, циркулирующая в замкнутом контуре с аппаратами воздушного охлаждения. Расход химочищенной воды на один теплообменник составляет 15м<sup>3</sup>/ч. общий расход - 150 м<sup>3</sup>/ч.

Для окончательного охлаждения полосы после прохождения ее ванны с цинком используется замочка в ванне с холодной водой. Для замочки необходимо применять мягкую воду, не оставляющую солевого осадка на полосе – конденсат с солесодержанием не более 100 мг/л и жесткостью не более 3 мг-экв/л.

### **Контрольные вопросы:**

1.Какие технологические операции предусмотрены в протяжной печи?

2. Из каких частей состоит агрегат непрерывного горячего цинкования?

Состав раствора обезжиривания ванны замочки: триполифосфат натрия – 1,5-2,0%, каустическая сода – 1-1,5%, эмульгатор –

3.Что и в каком количестве содержат сточные воды после промывки?

4. Какие требования предъявляются к качеству подводящей воды для нормальной работы печи?

**Список рекомендуемой литературы:**

1. Д.Н.Смирнов, В.Е.Генкин, “Очистка сточных вод в процессах обработки металлов”, М:Металлургия, 1989.
2. “Удаление металлов из сточных вод” под ред. Дж.К.Кушни, М:Металлургия, 1987.
3. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. "Контроль качества воды" М: Стройиздат, 1986.
4. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков *Под редакцией В.Н. Соколова* М: Стройиздат, 1992.
5. Туровский И.С. "Обработка осадков сточных вод" М: Стройиздат, 1984.

**Лекция № 30. Водоочистка травильных сточных вод**

**1. Промывные воды**

**2. Отработанные растворы**

Согласно действующим нормативным документам, сброс сточных вод в городские канализационные сети и в открытые водоемы допустим только в случаях, если они характеризуются величиной  $pH = 6,5—8,5$ .

В том случае, когда  $pH$  сточных вод соответствует кислой ( $pH < 6,5$ ) или щелочной ( $pH > 8,5$ ) реакции, сточные воды подлежат нейтрализации, под которой понимают снижение концентрации в них свободных  $H^+$ - или  $OH^-$ -ионов до установления  $pH$  в интервале 6,5-8,5.

Высокая концентрация  $H^+$ -ионов в сточных водах обусловлена наличием в них свободных минеральных (серная, соляная, азотная, фосфорная, плавиковая) кислот и в значительно меньшей степени — органических. Нейтрализация достигается добавками различных растворимых в воде щелочных реагентов (окись кальция, гидроокиси натрия, кальция, магния, карбонат натрия).

Реакция нейтрализации идет по схеме:  
 $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$ .

*Промывные воды.* Для нейтрализации кислых сточных вод можно применять следующие щелочные реагенты: окись кальция (негашеная известь), гидроокись кальция (гашеная известь), едкий натр, карбонат кальция (известняк, мел, мрамор), карбонат магния (магнезит), карбонат натрия (кальцинированная сода), карбонат магния – кальция (доломит).

При нейтрализации известью сточных вод, содержащих свободную серную кислоту и ее соли, образуется сульфат кальция, который при достижении определенной концентрации выпадает в осадок. Присутствующий в известковом молоке шлам способствует коагуляции частиц гидроокисей металлов и других нерастворимых примесей. Растворимость осадка зависит от его структуры, которая в свою очередь определяется условиями проведения процесса нейтрализации. Растворимость сульфата кальция при 20°C составляет — 2 г/л.

При нейтрализации избыточной кислотности величина pH сточных вод повышается, что сопровождается образованием и осаждением основных солей.

Выделение углекислого газа при нейтрализации свободных кислот приводит к флотационному эффекту: пузырьки углекислого газа, обволакивая частицы осадка, поднимают их вверх, способствуя всплыванию части осадка в отстойниках.

Осадки, образующиеся при обработке сточных вод содой, уплотняются значительно хуже, чем осадки, образующиеся при обработке сточных вод известью, так как флокулирующие свойства соды выражены значительно слабее. Однако к основным недостаткам соды и едкого натра как реагентов следует отнести их высокую стоимость и дефицитности.

Для нейтрализации кислых сточных вод и осаждения из них ионов тяжелых металлов могут быть успешно использованы некоторые производственные отходы - карбидный шлам, феррохромовый шлак и др.

Время осветления нейтрализованной воды составляет обычно 40 мин, объем осадка - 10% объема жидкости.

Для нейтрализации кислых сточных вод возможно использование отходов металлургической промышленности - феррохромового шлака, шлака электросталеплавильных печей и отходов обжига известняка-пыленки.

Нейтрализация сточных вод твердыми производственными отходами позволяет сократить объем образующегося осадка в 2-6 раз и умень-

шить его влажность с 98-99 до 76-65%. Для нейтрализации кислых сточных вод можно использовать также стоки гидрозоудаления ТЭЦ.

Количество промывных вод значительно, и в зависимости от вида обрабатываемых изделий оно изменяется в широких пределах, например, на 1 т изделий образуется следующее количество сточных вод, м<sup>3</sup>:

Листовая сталь.....2,5-8,5

Стальные трубы.....2-30

Стальные прутки.....0,4

Промывные воды содержат 0,5-5,0 г/л кислоты, 0,5-8,0 г/л солей железа и до 300 мг/л взвешенных частиц (окалина, песок и другие примеси).

Таким образом, на практике наблюдаются разнообразные концентрации загрязнений в травильных сточных водах, подверженные резким колебаниям не только в течение суток, но и одного часа. Эти колебания концентраций, главным образом, и вызывают необходимость применения систем автоматического регулирования процесса обработки травильных сточных вод.

В результате обследования очистных сооружений ряда предприятий металлургической промышленности были получены следующие данные о составе промывных травильных сточных вод

Кроме указанных загрязнений, травильные сточные воды содержат соответственно 5-25 и 50-200 мг-экв/л хлоридов и сульфатов.

Для получения данных о характере колебаний концентраций загрязнений во времени необходимо проводить длительные наблюдения.

Необходимо отметить, что расход сточной воды также не остается постоянным, но колебания его по сравнению с колебаниями концентраций загрязнений сравнительно невелики. Резкие изменения расхода связаны с аварийным состоянием технологического оборудования и случаются сравнительно редко.

*Отработанные растворы.* Отработанные растворы, образующиеся при травлении стальных изделий, в растворах минеральных кислот (серная, соляная, азотная, плавиковая и др.) на предприятиях черной металлургии содержат свободные минеральные кислоты, соли железа и других металлов в концентрациях, в сотни и тысячи раз превышающих концентрации этих веществ в обычных малоконцентрированных (промывных) сточных водах. Эти растворы либо обезвреживают (нейтрализуют) с помощью щелочных реагентов (обычно в смеси с промывными сточными водами), либо перерабатывают, используя

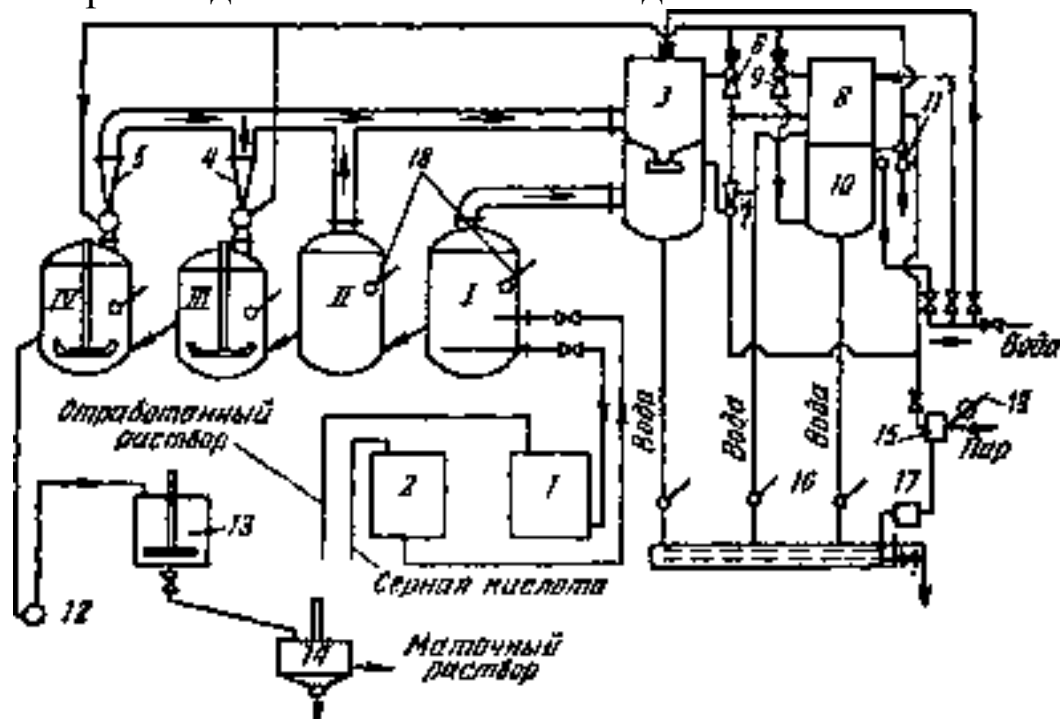
различные физико-химические способы с целью регенерации (утилизации) содержащихся в них ценных продуктов

Многokrатно использованные травильные растворы обогащаются солями железа и выводятся из производства. Отработавшие травильные растворы обрабатывают на купоросных установках, где регенерируется серная кислота и навлекается железный купорос. При других способах регенерации из травильных растворов получают хлористое или электролитическое железо.

Купоросная установка. Гипрометром разработаны типовые купоросные установки производительностью 1000, 3000, 6000 т серной кислоты в год.

Эти установки оборудованы вакуум-эжекционными агрегатами периодического действия производительностью 500-1500 т/год и непрерывного действия – 3000 т/год.

На рисунке показана схема вакуум-кристаллизационной установки производительностью 3000 т/год.



*I и II — испарители; III и IV — кристаллизаторы; 1 и 2 — мерники; 3 — главный конденсатор; 4 — 7 — эжекторы; 8 — конденсатор второй ступени; 9 — эжектор третьей ступени; 10 — конденсатор третьей ступени; 11 — эжектор четвертой ступени; 12 — насос; 13 — буферный бак с мешалкой; 14 — центрифуга; 15 — водоотделитель; 16 — барометрический сборник; 17 — конденсационный горшок; 18 — манометры; 19 — термометр.*

Рисунок 76. Схема вакуум-кристаллизационной купоросной установки непрерывного действия производительностью 3000 т/год

Травильные растворы с температурой 60-90<sup>0</sup>С подают в испарители, где за счет вакуума (примерно 400 мм вод. ст.), создаваемого паро- эжекторами, происходит выпаривание раствора. После этого раствор попадает в кристаллизаторы, где происходит аналогичный процесс. В последнем кристаллизаторе при давлении 7 мм рт. ст. и температуре 10<sup>0</sup>С образуется смесь кристаллов купороса и раствора серной кислоты, которую добавляют в кристаллизатор для интенсификации процесса высадки купороса. Отделение купороса от восстановленного раствора происходит в центрифуге. Восстановленный раствор с содержанием 20% кислоты и 10% купороса направляют в травильное отделение.

При потреблении серной кислоты менее 500 т/год обработка растворов на купоросных установках не рентабельна. В этом случае отработавшие травильные растворы направляют на очистную станцию. Однако и при использовании существующих купоросных установок часть растворов, непригодная к регенерации, поступает на нейтрализацию. В одних случаях отработавшие растворы очищают на местах отдельно, в других - вместе с промывными водами. Попадание отработавших растворов в промывные воды усложняет обработку, усугубляя неравномерность концентрации загрязнений.

Выше уже отмечалось, что в качестве нейтрализующего реагента для очистки травильных сточных вод используют известь как продукт наиболее дешевый и рациональный с точки зрения технологии очистки.

При взаимодействии извести с серной кислотой и растворенными соединениями железа, содержащимися в сточной воде, образуются малорастворимые сульфат кальция (гипс) и гидрат закиси железа Fe (ОН)<sub>2</sub>.

На 1 ч. (по массе) серной кислоты расходуется  $56/98=0,57$  ч. (по массе) СаО.

На 1 ч. (по массе) сернокислого железа расходуется  $56/152=0,37$  ч. (по массе) СаО.

При определении расхода товарной извести расчетное количество реагента следует увеличить за счет содержания в товарном продукте инертных примесей.

Растворимость сернокислого кальция весьма низкая (2,03 г/л при t = 20<sup>0</sup>С), он легко выпадает в осадок, быстро образуя на стенках труб и аппаратов твердые гипсовые отложения. Это значительно затрудняет эксплуатацию очистных сооружений. Процесс гидратации железа требует

определенных оптимальных условий. Наилучшим образом он проходит в слабощелочной среде с  $pH=8,3 - 8,5$ .

Получающиеся хлопья легки и непрочны. Содержащиеся в известковой суспензии твердые частицы способствуют утяжелению этого шлама. Как указано выше, чтобы ускорить осаждение, можно применять синтетические флокулянты, например полиакриламид.

Станции нейтрализации или нейтрализационные установки строят как периодически действующие, так и непрерывные - проточные. Станции большой производительности и автоматизированные установки устраивают, как правило, проточными. В указаниях по проектированию наружной канализации промышленных предприятий часть 1 СН 173-61 предусмотрен следующий состав сооружений для проточных станций нейтрализации: песколовки (они же окалиноуловители), усреднители, смесители-реакторы, камеры реакции, отстойники или осветлители, шламонакопители, шламовые площадки. Кроме того, во многих случаях в состав станции нейтрализации входит склад реагентов и узел их приготовления. Узел приготовления реагентов представляет собой наиболее сложную часть станции. Он оборудован механизмами для разгрузки и транспортирования извести, машинами и аппаратами для дробления, помола и гашения извести, устройствами для очистки известкового молока от шлама, снабжен баками-мешалками для хранения и заготовки рабочего раствора, насосами для его перекачивания и дозирующими устройствами. Аппаратуру для контроля и регулирования добавок реагента обычно также располагают в здании реагентного хозяйства.

Указанный состав сооружений там, где это необходимо, дополняют резервуарами для приема сточных вод перед их обработкой и сбора очищенной воды, насосами для перекачивания воды и шлама. На современных станциях нейтрализации обычно предусмотрено отделение для обезвоживания осадка, оборудованное вакуум-фильтрами, фильтрпрессами и т.п. В ряде случаев упрощают состав сооружений - вместо отстойников и отдельно шламо- накопителей используют пруды-шламонакопители.

Такое устройство станций нейтрализации не соответствует современным требованиям, так как противоречит основным принципам охраны природы. Пруды •накопители занимают большие площади и представляют собой "мертвые" водоемы. Емкости их обычно хватает только на несколько лет. В прудах-накопителях невозможно избежать

неравномерности распределения скоростей движения жидкости, что приводит к недопустимому выносу осадка.

Особенно нерациональны станции нейтрализации с прудами-накопителями вместо отстойников и шламонакопителей при необходимости использовать очищенную воду повторно или в обороте.

Вода, используемая для охлаждения элементов протяжной печи, собирается и отстаивается в усреднителе. Кислота гасится известью и отстоенная вода сливается в реку.

### **Контрольные вопросы:**

1. Какие щелочные реагенты можно применять для нейтрализации кислых сточных вод ?
2. Назовите отработанные растворы.
3. Принцип действия купоросной установки.

### **Список рекомендуемой литературы:**

1. Д.Н.Смирнов, В.Е.Генкин, "Очистка сточных вод в процессах обработки металлов", М:Металлургия, 1989.
2. "Удаление металлов из сточных вод" под ред. Дж.К.Кушни, М:Металлургия, 1987.
3. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. "Контроль качества воды" М: Стройиздат, 1986.
4. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков *Под редакцией В.Н. Соколова* М: Стройиздат, 1992.
5. Туровский И.С. "Обработка осадков сточных вод" М: Стройиздат, 1984.